ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

Comité de rédaction des Annales.

Rédacteur en chef :

L. GRANDEAU, directeur de la Station agronomique de l'Est.

Secrétaire de la rédaction :

H. GRANDEAU, sous-directeur de la Station agronomique de l'Est, chef des travaux agronomiques de la Faculté des sciences.

U. Gayon, directeur de la Station agronomique de Bordeaux.

Guinon, directeur de la Station agronomique de Châteauroux.

Margottet, directeur de la Station agronomique de Dijon.

Th. Schlœsing, de l'Institut, professeur à l'Institut national agronomique.

E. Risler, directeur de l'Institut national agronomique.

A. Girard, professeur à l'Institut national agronomique.

A. Müntz, professeur à l'Institut national agronomique.

Ed. Henry, professeur à l'École nationale forestière.

E. Reuss, professeur à l'École nationale forestière.

J. Risler, répétiteur à l'Institut national agronomique.

Correspondants des Annales pour l'étranger.

ALLEMAGNE.

L. Ebermayer, professeur à l'Université de Munich.

J. König, directeur de la Station agronomique de Münster.

Fr. Nobbe, directeur de la Station agronomique de Tharand.

Tollens, professeur à l'Université de Göttingen.

ANGLETERRE.

R. Warington, chimiste du laboratoire de Rothamsted.

Ed. Kinch, professeur de chimie agricole au collège royal d'agriculture de Cirencester.

BELGIQUE.

A. Petermann, directeur de la Station agronomique de Gembloux.

CANADA.

Dr O. Trudel, à Ottava.

ÉCOSSE.

T. Jamieson, directeur de la Station agronomique d'Aberdeen.

ESPAGNE ET PORTUGAL.

R. de Luna, professeur de chimie à l'Université de Madrid.

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

E. W. Hilgard, professeur à l'Université de Californie.

HOLLANDE.

A. Mayer, directeur de la Station agronomique de Wageningen.

ITALIE.

A. Cossa, professeur de chimie à l'École d'application des ingénieurs, à Turin.

NORWÈGE ET SUÈDE.

Zetterlund, directeur de la Station agronomique d'Orebro.

D^r Al. Alterberg, directeur de la Station agronomique et d'essais de semences de Kalmar.

SUISSE.

E. Schultze, directeur du laboratoire agronomique de l'École polytechnique de Zurich.

RUSSIE.

Thoms, directeur de la Station agronomique de Riga.

NOTA. — *Tous les ouvrages adressés* franco *à la Rédaction seront annoncés dans le premier fascicule qui paraîtra après leur arrivée. Il sera, en outre, publié s'il y a lieu, une analyse des ouvrages dont la spécialité rentre dans le cadre des* Annales *(chimie, physique, géologie, minéralogie, physiologie végétale et animale, agriculture, sylviculture, technologie, etc.).*

Tout ce qui concerne la rédaction des Annales de la Science agronomique française et étrangère *(manuscrits, épreuves, correspondance, etc.) devra être adressé* franco *à M.* **Henry Grandeau**, *docteur ès sciences, secrétaire de la Rédaction, 3, quai Voltaire, à Paris.*

ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

ORGANE

DES STATIONS AGRONOMIQUES ET DES LABORATOIRES AGRICOLES

PUBLIÉES

Sous les auspices du Ministère de l'Agriculture

PAR

LOUIS GRANDEAU

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE L'EST
MEMBRE DU CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'AGRICULTURE
VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'ENCOURAGEMENT A L'AGRICULTURE
DOYEN HONORAIRE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE NANCY
PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE FORESTIÈRE

CINQUIÈME ANNÉE — 1888

Tome II

PARIS

BERGER-LEVRAULT ET Cie, LIBRAIRES-ÉDITEURS

5, rue des Beaux-Arts

MÊME MAISON A NANCY

1889

SUR LES

RELATIONS DE L'AZOTE ATMOSPHÉRIQUE

AVEC LA TERRE VÉGÉTALE

PAR M. TH. SCHLŒSING

MEMBRE DE L'INSTITUT

I.

« Les recherches que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie sont une suite de mes études sur les relations de la terre végétale avec l'atmosphère. Après avoir étudié la terre végétale dans ses rapports avec l'ammoniaque, l'acide carbonique, l'oxygène, je vais la considérer dans ses rapports avec l'azote aérien.

« J'ai déjà fait voir que l'azote ne peut, pas plus que l'oxygène, éprouver la moindre condensation physique dans la terre considérée comme un milieu poreux. Peut-il y être condensé chimiquement, c'est-à-dire y passer de l'état d'azote gazeux libre à celui d'azote engagé dans une combinaison? S'il en est ainsi, la propriété de fixer l'azote gazeux doit appartenir exclusivement à la matière organique. Les éléments minéraux du sol, sables divers, argile, calcaire, sels solubles ou insolubles, placés en présence du gaz azote pendant un temps indéfini, demeureront indifférents à son égard ; seule, la matière organique est assez peu connue pour qu'il soit permis de lui attribuer la fonction de fixer l'azote.

« Des expériences classiques de Boussingault donnent déjà une solution de la question, au moins pour le sol sur lequel elles ont été faites. L'illustre agronome a enfermé de la terre de son potager du Liebfrauenberg dans de grands ballons scellés, et l'y a laissée pendant onze ans. La capacité des ballons était telle que l'atmosphère confinée devait rester toujours oxygénée, alors même que la totalité de la matière organique aurait brûlé ; aucune réduction, celle des nitrates en particulier, n'était donc possible. Boussingault connais-

sait exactement la quantité d'azote combiné dans sa terre au début des expériences ; après les onze ans écoulés, il la détermina de nouveau. Elle n'avait pas augmenté ; mais un tiers environ de l'azote primitivement engagé dans des combinaisons organiques s'était combiné à l'oxygène, pour constituer de l'acide nitrique. Ainsi fut démontré définitivement que l'azote des nitrates, engendrés dans la terre végétale, n'est autre que celui de la matière organique consumée par l'oxygène de l'air. En même temps, un autre fait ressortait de la comparaison des quantités d'azote contenues dans la terre, au début et à la fin des expériences : une terre abandonnée pendant onze ans en présence d'une atmosphère oxygénée n'avait pas fixé d'azote gazeux.

« J'avoue que, pour ma part, je m'en serais tenu à ce résultat des mémorables expériences de Boussingault, et je n'aurais entrepris aucune recherche sur la fixation de l'azote gazeux par la terre végétale, si la question n'avait pas été reprise en ces derniers temps et résolue dans le sens inverse. Quand des expériences sur un même sujet conduisent à des résultats divergents, quoiqu'on ne voie pas bien en quoi ces expériences diffèrent, de nouvelles investigations sont nécessaires. C'est pourquoi j'ai voulu apporter ma contribution en une question qui présente un intérêt théorique très considérable.

« Jusqu'ici la méthode inaugurée par Boussingault pour les études de ce genre a été seule employée. Elle consiste à doser l'azote dans la terre exposée à l'air, avant et après la période de temps consacrée à l'exposition, et à comparer les deux résultats de l'analyse. Ces résultats sont-ils égaux, la terre n'a pas perdu, n'a pas gagné d'azote. Sont-ils différents, selon le sens de la différence, la terre a perdu de l'azote ou en a gagné. Dans ce dernier cas, elle ne peut avoir réalisé son gain qu'en fixant l'azote gazeux de l'air.

« A mon tour, j'ai institué des expériences nombreuses en recourant à cette méthode ; j'en présenterai bientôt les résultats à l'Académie. Mais il m'a semblé qu'en une matière si délicate, il convenait de varier les méthodes de recherches et d'en employer une que je trouve plus directe, plus sûre, consistant à mesurer l'azote gazeux mis en contact avec les terres pendant un temps prolongé, et à cons-

tater soit la variation, soit la permanence de son volume, les variations indiqueront une perte ou un gain, la permanence démontrera l'inertie réciproque du gaz azote et de la terre mis en présence.

« Cette méthode possède un avantage marqué sur la première, celui de s'en tenir à des mesures de volumes gazeux et à des analyses eudiométriques, opérations bien plus sûres, bien plus exactes que des dosages d'azote dans les terres, exécutés soit par le procédé de la chaux sodée, soit par le procédé de la combustion.

« C'est la description de cette méthode, ce sont les résultats que j'ai obtenus, que je désire présenter d'abord à l'Académie. Introduire un poids connu de terre dans un ballon à col étroit et long ; extraire de ce ballon la totalité du gaz qu'il contient, pour le remplacer par un volume mesuré d'air pur ; retourner le ballon de façon que son col plonge dans une cuvette remplie de mercure ; entretenir d'oxygène l'atmosphère confinée dans le ballon, afin qu'elle ne devienne jamais réductrice ; extraire finalement la totalité de l'atmosphère confinée, après un séjour prolongé au contact de la terre ; en faire l'analyse eudiométrique, pour y déterminer la proportion et par suite le volume de l'azote ; enfin comparer les deux volumes initial et final de l'azote : tel est le résumé des opérations à effectuer. Je vais entrer, à leur sujet, dans quelques détails.

« J'ai fait voir qu'une terre végétale humide, qui remplit une capacité fermée, peut en quelques jours absorber la totalité de l'oxygène de l'air confiné avec elle, lors même que la proportion de la matière organique n'y dépasse pas le taux ordinaire des terres fertiles. La majeure partie de l'oxygène disparu est remplacé par de l'acide carbonique. Mais cette activité dans l'absorption de l'oxygène se ralentit assez promptement, quand la terre n'est pas remuée, et va s'affaissant graduellement ; il en résulte que l'entretien de l'oxygène dans mes ballons n'exige pas de manipulations trop répétées. Ces manipulations sont d'ailleurs très simples : elles consistent à transporter le ballon avec sa cuvette sur la cuve à mercure, et à y introduire, avec les précautions d'usage, de l'oxygène pur préparé selon les recommandations de M. de Bunsen et mesuré dans des cloches graduées. Mais l'acide carbonique produit ne laisserait bientôt plus de place à l'oxygène ; il faut aviser d'avance au moyen de l'ab-

sorber à mesure qu'il sera produit. A cet effet, je place à la naissance du col du ballon un tampon d'amiante, sur lequel je verse un mélange de sable grossier, lavé à l'acide et calciné au rouge, et de chaux pure hydratée et en poudre ; vient ensuite un deuxième tampon ; le mélange occupe une longueur de $0^m,20$ environ ; le reste du col, $0^m,30$, demeure vide ; le mercure peut s'élever dans cet espace à mesure que le volume du gaz confiné diminue par la disparition de l'oxygène et de l'acide carbonique. D'après la vitesse d'ascension du mercure dans le col, on peut estimer l'activité de la combustion dans la terre ; et, d'après la hauteur atteinte par le métal au-dessus de son niveau dans la cuvette, on juge de la convenance d'ajouter de l'oxygène en temps utile, avant que l'atmosphère du ballon cesse d'en contenir.

« Autant que possible, il faut favoriser la circulation des gaz au sein de la terre, afin que l'oxygène introduit s'y diffuse aisément et que l'acide carbonique engendré se rende sans trop de difficulté dans la colonne de chaux. J'évite donc d'émietter la terre au moment de l'introduire ; j'en fais, au contraire, par une pression modérée, des fragments aussi gros que le permet le diamètre du col du ballon.

« Pour dire comment j'extrais les gaz du ballon, au début et à la fin d'une expérience, comment j'introduis l'air pur, il me faudrait le secours de plusieurs figures que je ne veux pas donner dans un résumé destiné aux *Comptes rendus*. Chacun d'ailleurs, en pareille occasion, imagine les dispositions qu'il juge convenables. Je mentionnerai seulement une précaution qu'il est indispensable de prendre, lorsque le vide est près d'être réalisé, soit par la trompe à mercure, soit par la pompe de M. Alvergniat ; c'est de chauffer légèrement, et à de nombreuses reprises, la paroi du ballon opposée au col, afin de déterminer dans toute la masse de terre un courant de vapeur d'eau qui entraîne les derniers restes de gaz dans l'appareil qui fait le vide. Dans la plupart des cas, ces derniers restes sont de l'acide carbonique presque pur, provenant de la décomposition des bicarbonates; il convient de les recueillir à part, dans de petites cloches, et d'en constater la nature. Il est bien évident que tout l'azote a été extrait, lorsqu'un fonctionnement prolongé de l'appareil ne fournit plus que de faibles quantités d'acide carbonique.

« L'air destiné à l'introduction dans le ballon est contenu dans un grand volumètre à mercure, entouré d'eau, où les gaz sont toujours mesurés sous volume constant, par la pression qu'ils exercent sur une colonne mercurielle. Cet air a été puisé hors du laboratoire. Au moment voulu, le volumètre est mis en rapport avec le ballon, et l'air est transvasé. Mais il en reste toujours un excès dans le volumètre, excès qui est mesuré à son tour, en sorte que le volume introduit dans le ballon est la différence entre le volume d'air contenu d'abord dans le volumètre, à la pression atmosphérique, et le volume d'air restant après l'introduction.

« Quand, l'expérience ayant pris fin, on extrait les gaz du ballon par le vide, on les recueille dans le même volumètre. Ainsi la capacité constante de celui-ci figure, comme facteur commun, dans toutes les expressions des volumes gazeux ramenés à 0° et à la pression de 760 millimètres; par conséquent, dans la comparaison des deux volumes initial et final de l'azote, les hauteurs des colonnes mercurielles observées et les observations thermométriques et barométriques sont les seules quantités dont dépende soit l'égalité, soit la différence entre les deux volumes : mais la détermination rigoureuse de la capacité du volumètre, bonne en toute occasion, n'est pas nécessaire dans le cas présent, surtout quand il se trouve que les deux volumes en question sont égaux.

« Bien que cette note ait déjà une certaine longueur, il me resterait assez de place pour la faire suivre d'un résumé succinct des résultats de mes expériences. Mais je tiens à présenter tous les chiffres utiles à la discussion de ces résultats.

« C'était la coutume de Boussingault de mettre chacun en possession de tous les moyens de discuter les faits qui lui révélait l'expérimentation, coutume qu'on ne saurait trop suivre, quand les conclusions des recherches reposent uniquement sur l'analyse chimique. Je remettrai donc à une prochaine séance la suite de la présente communication. »

II.

« Je vais rendre compte des expériences que j'ai exécutées, d'après la méthode décrite dans ma note du 19 mars, pour savoir si la terre végétale fixe l'azote gazeux :

Terres employées.

A, terre de Sauxmesnil, près Valognes, prise à $0^m,80$ de profondeur ; argilo-siliceuse, maigre.

B, terre de Neauphle-le-Château, prise à $0^m,35$ de profondeur ; argilo-siliceuse, grasse.

C, terre de Grenelle, prise dans une tranchée verticale pratiquée pour extraction du sable sous-jacent ; très calcaire.

D, terre de Fouilleuse ; de même genre que la terre A.

E, terre de Montretout ; très sableuse.

F, kaolin fourni par la fabrique de Choisy.

Analyse mécanique de ces terres.

	A	B	C	D	E	F
Sable grossier. siliceux	48.23	28.83	28.50	47.35	86.02	Analyse jugée inutile.
Sable grossier. calcaire	»	»	16.40	»	»	
Sable fin, siliceux	39.04	51.05	8.72	39.61	5.25	
Calcaire fin	»	»	38.78	»	»	»
Argile	12.25	19.10	7.60	12.57	7.30	»
	99.52	98.98	100.00	99.53	98.57	»
Chaux extraite par un acide faible	0.29	0.61	»	0.47	0.19	»

Poids et humidité des terres employées.

	A	B	C	D	E	F
Poids	$1^{kg},925$	$1^{kg},949$	$2^{kg},112$	$2^{kg},267$	$2^{kg},221$	$2^{kg},195$
Humidité p. 100	14.24	14.87	11.78	13.2	14.04	21.3

Volumes d'air, à 0° et 760mm, introduits[1].

	A	B	C	D	E	F
Volume d'air	$796^{cc},3$	$781^{cc},1$	$718^{cc},9$	$824^{cc},0$	$771^{cc},6$	$828^{cc},7$
Contenant azote	629 ,4	617 ,4	568 ,2	651 ,3	609 ,9	655 ,0
Contenant oxygène	166 ,9	163 ,7	150 ,7	172 ,7	161 ,7	173 ,7

1. La capacité V du volumètre est de 1178^{cc} ; le volume d'air introduit est la différence entre la quantité d'air qui remplit le volumètre, à la pression atmosphérique, avant l'introduction, et celle qui reste après l'introduction.

$$\text{Air introduit} = V\frac{H-f}{760(1+\alpha t)} - V\frac{H'-h-f'}{760(1+\alpha t')}$$

Valeurs de H, H', h ramenées à 0°, et températures :

H	$745^{mm},09$	$758^{mm},52$	$748^{mm},60$	$757^{mm},18$	$748^{mm},13$	$744^{mm},16$
t	13°85	16°75	13°48	18°1	17°12	13°8
H'	$745^{mm},09$	$758^{mm},64$	$748^{mm},55$	$757^{mm},01$	$748^{mm},46$	$743^{mm},56$
h	—538 ,78	—534 ,28	—485 ,50	—566 ,21	—529 ,03	—559 ,47
t'	14°54	17°2	14°19	18°38	17°3	14°94

Durée des expériences.

A	B	C	D	E	F
Du 21 janv. 1886 au 17 mars 1887.	Du 28 janv. au 25 mars.	Du 23 janv. au 20 mars.	Du 29 mars au 5 avril.	Du 2 févr. au 6 avril.	Du 25 janv. au 22 mars.

Moyennes mensuelles des températures des terres.

Fin janv. 1886 .	15°,6	mai . .	20°,6	sept. .	22°,3	janv. 1887 .	12°,4
févr. . . .	14 ,2	juin. .	20 ,3	oct . .	15 ,5	févr	14 ,1
mars . . .	15 ,3	juill. .	24 ,1	nov. .	15 ,2	mars. . . .	14 ,6
avril. . . .	16 ,2	août .	23 ,6	déc. .	12 ,3		

Oxygène introduit pendant les expériences.

A		B		C		—		E	F
5 févr.	79cc,6	5 févr.	126cc,5	7 févr.	85cc,3	11 févr.	122cc,3	»	»
16 mars	78 ,4	26 févr.	124 ,5	15 juin.	35 ,2	16 mars	76 ,5		
17 mai.	72 ,8	16 mars	68 ,5	30 nov.	77 ,0	15 mai.	121 ,5		
14 août.	68 ,1	6 mai.	73 ,3		197cc,5	14 août.	98 ,3		
	298cc,9	15 juin.	78 ,3			30 nov.	76 ,5		
		14 août.	92 ,1				495cc,1		
		30 nov.	91 ,3						
			654cc,5						

Gaz extraits à la fin des expériences (recueillis et mesurés dans le volumètre).

VALEURS RAMENÉES A 0°.	A	B	C
De H.	757mm,05	755mm,55	759mm,36
De h.	— 306 ,00	— 227 ,31	— 256 ,56
Et température t.	12°6	16°18	10°15
$V \frac{H-h-f}{760(1+\alpha t)}$	652cc,19	752cc,90	737cc,58
A ajouter : gaz recueilli en petit tube à la fin de l'extraction	7 ,81	0 ,25	0 ,30
	660cc,00	753cc,15	737cc,88

VALEURS RAMENÉES A 0°.	D	E	F
De H.	746mm,68	747mm,85	754mm,16
De h.	— 192 ,90	— 253 ,86	— 212 ,95
Et température t.	15°28	14°69	15°3
$V \frac{H-h-f}{760(1+\alpha t)}$	793cc,91	708cc,31	775cc,64
A ajouter : gaz recueilli en petit tube à la fin de l'extraction	0 ,14	0 ,22	0 ,48
	794cc,05	708cc,53	776cc,12

Analyse eudiométrique de ces gaz[1].

Azote	95.27	82.04	77.06	82.17	86.19	84.35
Oxygène	4.60	17.96	22.94	17.57	13.81	15.63
Acide carbonique.	0.13	»	»	0.26	»	0.02
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Azote, oxygène, acide carbonique dans les gaz extraits.

Azote à 0° et 760^{mm} .	628^{cc},78	617^{cc},88	568^{cc},61	652^{cc},47	610^{cc},68	654^{cc},66
Oxygène à 0° et 760^{mm}.	30 ,36	135 ,27	169 ,27	139 ,52	97 ,85	121 ,31
Acide carbonique à 0° et 760^{mm}.	0 ,86	»	»	2 ,90	»	0 ,15
	660^{cc},00	753^{cc},15	737^{cc},88	794^{cc},05	708^{cc},53	776^{cc},12

1.

		h.		*t.*	H.	H—*h*—*f*			
A	Gaz.	—130^{mm}	,00	9°7	767,2	627,61	100,00	0,13 CO^2	
	Après potasse.	—131	,40	»	»	626,81	99,87	27,04 H	
	Après H. . .	+ 38	,30	»	»	796,50	126,91	13,79 HO	4,60 O
	Après étincelle	+ 48	,25	»	»	709,96	113,12		9,19 H
B	Gaz.	— 45	,70	18°0	757,8	696,74	100,00	0,0 CO^2	
	Après potasse.	— 45	,85	»	758,0	696,79	100,007	48,21 H	
	Après H. . .	+290	,25	»	758,0	1032,89	148,24	53,88 HO	17,96 O
	Après étincelle	— 85	,20	»	758,0	657,44	94,36		35,92 H
C	Gaz.	—167	,00	9°5	760,0	584,13	100,00	0,0 CO^2	
	Après potasse.	—167	,00	»	760,0	584,13	100,00	59,45 H	
	Après H. . .	+180	,35	»	759,9	931,38	159,45	68,82 HO	22,94 O
	Après étincelle	—221	,55	»	759,8	529,38	90,63		45,88 H
D	Gaz.	— 47	,20	18°2	748,3	685,55	100,00	0,26 CO^2	
	Après potasse.	— 48	,90	»	748,2	683,75	99,74	47,05 H	
	Après H. . .	+273	,75	»	748,1	1006,30	146,79	52,71 HO	17,57 O
	Après étincelle	— 87	,50	»	748,0	644,95	94,08		35,14 H
	Après O. . .	+ 12	,00	»	748,0	744,45	108,59	14,51 O	5,94 O
	Après étincelle	—110	,00	»	747,9	622,35	90,78	17,81 HO	11,87 H
E	Gaz.	— 45	,55	15°9	751,6	692,60	100,00	0,0 CO^2	
	Après potasse.	— 45	,55	»	751,6	692,60	100,00	35,33 H	
	Après H. . .	+199	,05	»	751,7	937,30	135,33	41,14 HO	13,81 O
	Après étincelle	— 88	,10	»	751,8	650,25	93,89		27,63 H
	Après O. . .	— 18	,35	»	751,9	720,10	103,97	10,08 O	3,81 O
	Après étincelle	— 97	,60	»	752,0	640,95	92,54	11,43 HO	7,62 H
F	Gaz.	— 35	,25	18°4	753,4	702,40	100,00	0,02 CO^2	
	Après potasse.	— 35	,00	»	753,0	702,25	99,98	35,84 H	
	Après H. . .	+216	,75	»	753,0	954,00	135,82	46,90 HO	15,63 O
	Après étincelle	—112	,50	18°45	753,0	624,59	88,92		31,27 H

Compte de l'azote.

Initial.	629cc,40	617cc,40	568cc,20	651cc,30	609cc,90	655cc,00
Final	628 ,78	617 ,88	568 ,61	652 ,47	610 ,68	654 ,66
	— 0cc,62	+ 0cc,48	+ 0cc,41	+ 1cc,17	+ 0cc,78	— 0cc,34

Compte de l'oxygène.

Initial	166cc,90	163cc,70	150cc,70	172cc,70	161cc,70	173cc,70
Introduit pendant l'expérience. .	298 ,90	654 ,50	197 ,50	495 ,10	»	»
Total . . .	465cc,80	818cc,20	348cc,20	667cc,80	161cc,70	173cc,70
Restant	30 ,36	135 ,27	169 ,27	139 ,52	97 ,85	121 ,31
Disparu.	435cc,44	682cc,93	178cc,93	528cc,28	63cc,85	52cc,89

« A ces comptes, je puis ajouter pour les trois premières terres et la dernière les comptes de l'acide nitrique et de l'ammoniaque, que j'ai dosés avant et après les expériences :

	A	B	C	F
AzO^5 initial	15mgr,2	16mgr,6	458mgr,7	5mgr,9
— final.	79 ,3	144 ,7	486 ,4	0 ,0
— produit.	+ 64mgr,1	+ 128mgr,1	+ 27mgr,7	+ 5mgr,9
AzH^3 initiale.	30mgr,8	10mgr,82	31mgr,7	
— finale	12 ,1	2 ,15	21 ,5	
— disparue	— 18mgr,7	— 8mgr,67	— 10mgr,2	

« RÉSUMÉ. — La disparition d'oxygène montre que la combustion des matières organiques s'est poursuivie dans les six terres, à des degrés divers dépendant des quantités et de la nature de ces matières.

« Pendant cette combustion, il s'est formé de l'acide nitrique et de l'ammoniaque a disparu.

« Les volumes d'azote gazeux contenus dans les atmosphères des terres n'ont pas varié sensiblement ; les très petites variations observées tantôt en plus, tantôt en moins, ne dépassent pas l'ordre de grandeur des erreurs commises dans la mesure et l'analyse des gaz.

« En admettant que la plus grande variation en moins observée,

— $0^{cc},62$, représente une fixation d'azote par la terre (de Saux-mesnil), on peut calculer que 1 kilogr. de terre absorberait, en quatorze mois, $0^{cc},33$ ou $0^{mgr},41$ d'azote; et que les 4.000 tonnes de terre constituant une couche de $0^{m},30$ étendue sur 1 hectare absorberaient dans ce même temps, $1^{kg},6$ d'azote, quantité insignifiante, au point de vue de l'utilisation agricole des composés azotés. »

III.

« J'ai eu l'honneur de communiquer à l'Académie, les 19 et 26 du mois de mars dernier, les résultats d'une première série d'expériences que j'avais entreprises au commencement de 1886, pour voir si la terre végétale est capable de fixer l'azote gazeux. Ces expériences consistaient essentiellement à mesurer l'azote gazeux enfermé avec les terres dans des vases clos, et à constater, après plus d'un an écoulé, soit les variations, soit la permanence des volumes d'azote. Ceux-ci étant demeurés constants, j'ai conclu que les terres n'avaient fixé d'azote gazeux dans aucune de mes expériences.

« Mais, ainsi que je le disais dans ma note du 17 mars, en une matière si délicate, il convient de varier les conditions de l'expérimentation. Dans les expériences citées, l'azote, accompagné d'oxygène, devait rester rigoureusement emprisonné dans les terres, sans aucune communication avec l'atmosphère. Il m'a paru nécessaire d'instituer d'autres expériences sous la condition contraire du renouvellement continu du contact des terres avec l'air extérieur. Cette condition exclut l'emploi si précieux des méthodes gazométriques auxquelles j'ai eu recours dans mes premières expériences; elle oblige à user de la méthode indirecte, souvent employée par Boussingault, qui consiste à doser l'azote combiné contenu dans les terres au début et à la fin des expériences. Les différences entre les quantités dosées fournissent, selon leur sens, la mesure des pertes ou des gains d'azote.

« J'ai réalisé de deux manières le renouvellement de l'air dans les terres :

« 1° Les terres sont contenues dans des récipients fermés où je fais passer constamment de l'air pur.

« 2° Elles sont simplement étalées au libre contact de l'air dans des vases largement ouverts.

« Dans le premier cas, je puis toujours faire passer dans mes terres des quantités d'air assez grandes pour que la combustion lente de la matière organique n'en altère pas sensiblement la composition, en sorte que, sous le rapport de l'aération, les terres se trouvent dans les conditions naturelles. Mais, d'un autre côté, ces mêmes quantités d'air peuvent être assez petites pour que leurs apports d'ammoniaque et d'acide nitrique soient tout à fait négligeables. Supposons, par exemple, que 1 kilogr. de terre soit traversé journellement par 1 litre d'air. Cet air sortira bien peu altéré. Que l'expérience dure un an, deux ans, il passera pendant ce temps 400 litres, 800 litres d'air. Or, d'après mes dosages poursuivis tous les jours, durant treize mois, 100 mètres cubes d'air puisé hors de mon laboratoire contiennent en moyenne $2^{mgr},2$ d'ammoniaque : 400 litres, 800 litres en contiendront $0^{mgr},009$ ou $0^{mgr},018$, quantités vraiment négligeables en regard du poids d'azote combiné contenu dans le kilogramme de terre.

« Pour l'étude de la question de la fixation de l'azote, cette terre sera placée dans des conditions favorables : en effet, elle sera toujours en contact avec l'air normal, comme si elle était encore dans son champ ; mais elle ne lui empruntera pas d'azote combiné ; elle n'en pourra gagner qu'en exerçant le pouvoir de fixer l'azote gazeux qui lui a été attribué et qu'il s'agit précisément de mettre à l'épreuve.

« Dans le second cas, les terres possèdent encore, comme dans le premier, une atmosphère confinée normale ; mais, de plus, par leurs surfaces en libre contact avec l'atmosphère, elles lui empruntent des quantités d'azote combiné, principalement à l'état d'ammoniaque, qui ne sont plus du tout négligeables au regard de l'azote qu'elles possèdent déjà.

« On voit immédiatement combien devaient être intéressantes des expériences consistant à placer les mêmes terres dans l'un et l'autre cas. Non seulement elles renseigneraient sur la question de la fixation de l'azote gazeux ; mais elles permettraient encore, par la comparaison des gains d'azote réalisés dans les deux cas, de mettre en évidence, de mesurer même les quantités d'azote combiné que les

terres empruntent à l'atmosphère dans des conditions déterminées.

« Par ces considérations, j'ai été conduit, aussitôt après l'installation des premières expériences dont j'ai déjà rendu compte, à en instituer une deuxième et une troisième série, correspondant aux deux cas dont je viens de parler.

« Les terres de ma deuxième série sont enfermées dans de grandes allonges de $2^{\text{lit}},50$ de capacité. De l'air puisé au dehors y circule sans cesse à l'aide de mécanismes très simples que j'ai déjà employés dans mes études sur la nitrification de la terre végétale[1]. Dans ma troisième série, les mêmes terres, contenues dans des vases de verre à fond plat, sont rangées dans un coffre horizontal en bois constamment parcouru par un courant d'air. Une toile métallique, à mailles très fines, filtre l'air à son entrée et préserve les terres des atteintes des oiseaux et des moucherons ou autres insectes; l'appel de l'air est produit par une cheminée en poterie chauffée par des becs de gaz.

« De cette troisième série, j'espère entretenir bientôt l'Académie; elle m'a fourni déjà plusieurs observations intéressantes. Présentement, il s'agit uniquement des résultats donnés par la deuxième série.

« J'ai employé sept terres :

I. Terre de Boulogne-sur-Seine, formée du limon du fleuve, mélange de calcaire, d'argile et de sable, très fertile; engraissée avec du fumier et des gadoues de Paris;

II. Sous-sol de cette terre, puisé entre $0^{m},60$ et $0^{m},70$ de profondeur;

III. Terre de Neauphle, argilo-sableuse, non calcaire, meuble, très fertile;

IV. Sous-sol de cette terre, puisé entre $0^{m},40$ et $0^{m},50$ de profondeur;

V, VI, VII. Terres de Grenelle, Fouilleuse et Montretout, employées dans les expériences de la première série.

« Toutes ces terres ont été passées à travers un crible de sept mailles au centimètre linéaire; j'en ai ainsi extrait les éléments trop grossiers, dont la présence n'aurait pas permis de compter sur la

---

1. *Contributions à l'étude de l'atmosphère et du sol* (*Encyclopédie chimique* de M. Frémy).

fidélité des échantillons soumis aux analyses. Je les ai ensuite mises à sécher spontanément, afin de pouvoir les conserver indéfiniment sans altération. Je me proposais, en effet, pour les mieux définir et mieux étudier les modifications produites par un long séjour au contact de l'air, d'en faire les analyses mécaniques, d'y doser les proportions d'azote total, nitrique, ammoniacal et organique, d'y rechercher enfin les quantités de matières organiques. Toutes ces déterminations devaient prendre un temps assez long pendant lequel les éléments à doser auraient varié, si les terres n'avaient pas été privées d'abord de leur humidité. Bien entendu, cette humidité leur a été rendue au moment où je les ai mises en expérience.

« Les expériences sur les sept terres ont commencé du 18 au 24 février 1886. Les terres de Boulogne (sol), Neauphle (sous-sol), Grenelle, Fouilleuse et Montretout ont été échantillonnées du 17 au 21 avril 1888, plus de deux ans après leur mise en expérience. Boulogne (sous-sol) et Neauphle (sol) l'ont été plus tard encore, les 2 et 4 juillet.

« Pour prendre un échantillon, j'ai versé toute la terre d'une allonge ($1^{kg},7$ à 2 kilogr.) dans une grande capsule de porcelaine ; après mélange, j'ai prélevé $0^{gr},06$ à $0^{gr},07$ de terre que j'ai aussitôt introduite dans un ballon ; le reste a été remis dans l'allonge pour la continuation de l'expérience. Le ballon a été réuni à un serpentin entouré de glace aboutissant à un récipient. Le vide ayant été fait dans l'appareil, on a chauffé le ballon jusqu'à 66°. Dans ces conditions, la dessiccation de la terre est obtenue en quelques heures. L'ammoniaque dégagée se trouve tout entière dans l'eau condensée où on la dose. Je n'y ai trouvé que des quantités d'alcali à peine dosables, comprises entre 0 et $0^{mgr},04$, ce qui montre une fois de plus que l'ammoniaque est énergiquement retenue dans les sols. Voici, par exemple, la terre de Boulogne qui est *très calcaire :* les 600 grammes soumis à la dessiccation contenaient $5^{mgr},06$ d'ammoniaque, quantité sur laquelle $0^{mgr},02$ seulement, soit $\frac{1}{250}$, a passé à la distillation. Cependant la température était de 66°, et l'eau recueillie mesurait plus de 90 grammes, ce qui représente plusieurs mètres cubes de vapeur d'eau étendue dans le vide. Combien donc était faible dans la terre la tension de l'ammoniaque !

« Je vais maintenant présenter les résultats numériques fournis par mes analyses :

Analyse mécanique des terres.

		Boulogne. Sol.		Boulogne. Sous-sol.		Neauphle. Sol.		Neauphle. Sous-sol.	
Gros sable	siliceux	27.32	45.52	15.77	33.60	31.64	31.76	25.21	25.30
	calcaire	17.12		17.65		0.00		0.00	
	débris de terreau	1.08		0.18		0.12		0.09	
Sable fin	siliceux	17.51	39.72	20.75	48.13	53.50	54.88	53.45	54.06
	calcaire	19.85		25.80		0.00		0.00	
	débris de terreau	2.36		1.58		1.38		0.61	
Argile et matière humique			13.45		16.62		11.10		18.66
Humidité			1.31		1.65		1.00		0.95
			100.00		100.00		98.74		98.97

« La composition des terres de Grenelle, de Fouilleuse, de Montretout a été donnée dans ma note du 26 mars ; je rappellerai seulement ici que la terre de Fouilleuse ressemble à celle de Neauphle (sous-sol) ; que la terre de Grenelle est très calcaire et très pauvre ; que celle de Montretout, plus pauvre encore, est un sable argileux non calcaire.

Humidité des terres, p. 100 de terre sèche.

Boulogne. Sol.	Boulogne. Sous-sol.	Neauphle. Sol.	Neauphle. Sous-sol.	Grenelle.	Fouilleuse.	Montretout.
15.3	18.0	15.2	14.3	13.2	16.4	12.8

Carbone organique, acide nitrique, ammoniaque pour 100 grammes de terre sèche.

	Carbone. 1886.	Carbone. 1888.	Carbone. Différence.	Acide nitrique. 1886.	Acide nitrique. 1888.	Acide nitrique. Différence.	Ammoniaque. 1886.	Ammoniaque. 1888.	Ammoniaque. Différence.
	Gr.	Gr.	Gr.	Mgr.	Mgr.	Mgr.	Mgr.	Mgr.	Mgr.
Boulogne (sol) . .	2,591	2,401	—0,190	3,6	41,9	+38,3	0,84	0,75	—0,09
— (sous-sol)	1,288	1,141	—0,147	2,5	27,6	+25,1	0,72	0,66	—0,06
Neauphle (sol) . .	1,003	0,909	—0,094	2,9	37,5	+34,6	0,65	0,37	—0,28
— (sous-sol)	0,390	0,388	—0,002	0,4	11,1	+10,7	0,49	0,35	—0,14
Grenelle	»	»	»	24,6	30,8	+ 6,2	1,70	0,28	—1,42
Fouilleuse. . . .	0,329	0,314	—0,015	7,4	9,9	+ 2,5	0,52	0,15	—0,37
Montretout. . . .	0,031	0,024	—0,007	1,1	1,5	+ 0,4	0,40	0,09	—0,31

« On voit que, dans toutes les terres, la combustion lente de la matière organique et la nitrification ont suivi leurs cours ; en même temps, l'ammoniaque a diminué, par suite, sans doute, d'une nitrification partielle.

« *Azote total pour 100 grammes de terre sèche.* — L'azote a été déterminé par la combustion de la matière organique. Vu l'importance spéciale de ses dosages, je donnerai les poids de terres supposées sèches qui ont servi aux analyses, et les volumes d'azote recueillis, déduction faite des petites quantités de gaz combustibles révélées par l'analyse eudiométrique.

Azote en avril 1886.

		POIDS des terres.	AZOTE dosé.	AZOTE pour 100 grammes de terre sèche.	
Boulogne (sol)	I.	234gr,455	379cc,96	162cc,06	162cc,70 = 204mgr,5
	II.	165 ,901	271 ,91	163 ,90	
	III.	131 ,229	212 ,87	162 ,20	
Boulogne (sous-sol)	I.	191 ,725	217 ,73	113 ,56	113 ,62 = 142 ,8
	II.	135 ,220	153 ,70	113 ,66	
Neauphle (sol)	I.	188 ,411	162 ,12	86 ,05	86 ,09 = 108 ,2
	II.	189 ,747	163 ,44	86 ,13	
Neauphle (sous-sol)	I.	173 ,607	76 ,10	43 ,84	43 ,71 = 54 ,94
	II.	175 ,725	76 ,15	43 ,34	
	III.	220 ,641	97 ,00	43 ,96	
Grenelle	I.	204 ,090	27 ,79	13 ,61	13 ,61 = 17 ,11
Fouilleuse	I.	165 ,454	56 ,47	34 ,13	34 ,22 = 43 ,02
	II.	214 ,301	73 ,55	34 ,32	
Montretout	I.	169 ,730	8 ,99	5 ,30	5 ,27 = 6 ,62
	II.	218 ,763	11 ,46	5 ,24	

Azote en avril ou juillet 1888.

« On a vu que les terres ont perdu du carbone ; les chiffres exprimant ces pertes doivent être doublés pour représenter à peu près les quantités de matières organiques brûlées. Ainsi la terre de Boulogne (sol) a perdu 0gr,190 de carbone, soit 0gr,380 de matière organique pour 100 grammes de terre sèche ; d'où résulte que le poids P de terre supposée sèche dans lequel je détermine l'azote en 1888 correspond à un poids $P \times \frac{100}{100-0,38}$ de la terre de 1886. Pour obtenir des résultats vraiment comparables, il faut rapporter l'azote dosé en 1888, non au poids P, mais bien à $P \times \frac{100}{99,62}$.

« Ce sont les poids corrigés de la sorte qui figurent dans le tableau suivant :

	POIDS de terre.	AZOTE dosé.	AZOTE pour 100 grammes de terre sèche *primitive*.
Boulogne (sol)	132gr,615	216cc,325	163cc,12 = 205mgr,04
— (sous-sol)	211 ,418	239 ,96	113 ,50 = 142 ,67
Neauphle (sol)	228 ,886	197 ,107	86 ,12 = 108 ,25
— (sous-sol)	245 ,785	106 ,25	43 ,23 = 54 ,34
Grenelle	260 ,498	34 ,97	13 ,44 = 16 ,89
Fouilleuse	208 ,820	71 ,82	34 ,39 = 43 ,23
Montretout	213 ,666	11 ,90	5 ,57 = 7 ,00

Résumé des dosages d'azote.

	AZOTE dans 100 gr. de terre sèche en 1886.	AZOTE dans 100 gr. de terre sèche en 1888.	DIFFÉRENCE.
Boulogne (sol)	204mgr,51	205mgr,04	+ 0mgr,53
— (sous-sol)	142 ,82	142 ,67	— 0 ,15
Neauphle (sol)	108 ,22	108 ,25	+ 0 ,03
— (sous-sol)	54 ,94	54 ,37	— 0 ,57
Grenelle	17 ,11	16 ,89	— 0 ,22
Fouilleuse	43 ,02	43 ,23	+ 0 ,21
Montretout	6 ,62	7 ,00	+ 0 ,38
Total	577mgr,24	577mgr,45	

« Entre les doses d'azote trouvées en 1886 et 1888, il y a de petites différences, tantôt positives, tantôt négatives, évidemment imputables à l'imperfection de l'analyse. Ces différences s'évanouissent presque lorsque l'on compare les totaux des doses obtenues à deux ans et plus d'intervalle.

« La conclusion de cette deuxième série d'expériences est donc la même que celle de la première série. Qu'elles aient été exposées au contact renouvelé de l'air ou enfermées en vases clos avec une atmosphère confinée mais oxygénée, les terres sur lesquelles j'ai expérimenté n'ont pas fixé d'azote gazeux. »

IV.

« Il me semble indispensable de compléter la note qui précède, sur les relations de l'azote atmosphérique avec la terre végétale, en

faisant connaître les méthodes d'analyse que j'ai employées, afin que chacun puisse juger du degré de confiance mérité par les résultats obtenus.

« Je ne dirai rien des procédés d'analyse mécanique, de dosage d'ammoniaque et d'acide nitrique, parce qu'ils sont répandus dans la plupart des laboratoires où l'on s'occupe de questions agricoles. Je parlerai seulement de la détermination des matières organiques et de celle de l'azote.

« *Matières organiques.* — On ne sait pas en faire l'extraction totale d'une terre. Il faut donc avoir recours, pour les déterminer, à quelque méthode indirecte. Plusieurs ont été proposées, parmi lesquelles la moins imparfaite, à mon avis, consiste à doser le carbone de ces matières en les brûlant selon les errements de l'analyse organique élémentaire. En doublant le poids du carbone dosé, on n'est pas loin du poids de l'ensemble des matières qu'il s'agit de déterminer. Mais, pendant la combustion, les carbonates préexistants se décomposent en partie. Le dosage serait donc trop élevé, si l'on s'en tenait au poids d'acide carbonique fourni par cette première opération ; il faut déterminer l'acide carbonique restant dans la terre brûlée ; il faut encore le déterminer dans la terre avant la combustion; après quoi, on obtient l'acide carbonique correspondant aux seules matières organiques en ajoutant l'acide recueilli pendant la combustion à celui qu'a donné la terre brûlée, et retranchant l'acide préexistant. C'est ainsi que j'ai déterminé le carbone organique dans mes diverses terres.

« On trouve disséminés dans les terres cultivées des fragments de charbon de bois, de coke, de houille même, dont l'origine est évidente ; ils proviennent des cendres jetées au tas de fumier, ou ramassées dans les rues des villes avec les détritus dont se compose la gadoue. Le criblage en élimine la majeure partie, et le reste est négligeable dans la plupart des cas, mais non quand une terre est engraissée chaque année, comme celle de Boulogne, avec les immondices de Paris. Le dosage du carbone organique est alors très exagéré. En pareil cas, on peut corriger l'erreur, au moins partiellement, de la manière suivante. On étale 200 grammes de la terre tamisée dans un moufle dont la température atteint à peine le rouge

naissant. Les matières organiques sont très combustibles et disparaissent intégralement. Le coke demeure et peut être ensuite déterminé à part ; mais le charbon de bois, s'il y en a, brûle avec les matières organiques, et l'erreur due à sa présence n'est pas évitée. J'ai trouvé ainsi, dans la terre de Boulogne, $0^{gr},67$ de coke pour 100 grammes de terre sèche, quantité que j'ai défalquée du résultat fourni par les dosages d'acide carbonique.

« Au reste, ce genre d'erreur n'empêche nullement de mesurer l'activité de la combustion organique pendant un certain laps de temps. Cette mesure est donnée par la quantité de carbone disparu ; et cette quantité, à son tour, est donnée par une différence entre deux dosages affectés d'une même erreur qui s'évanouit.

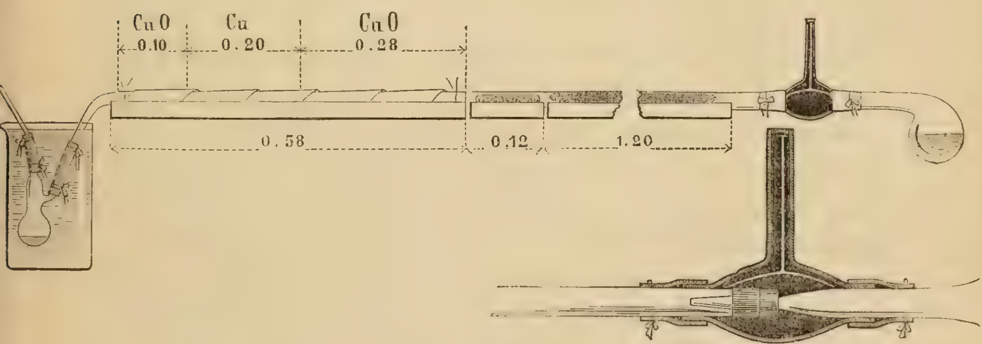
« *Azote.* — Le procédé le plus sûr pour doser l'azote dans une matière organique est toujours celui de Dumas, surtout quand il s'agit de terre végétale. C'est un procédé direct, puisqu'il mesure l'azote gazeux provenant de la destruction totale de la matière par la combustion. Il y a plusieurs manières de le mettre en pratique. Comme l'exactitude du dosage dépend des dispositions adoptées par l'analyste, je vais décrire celles qui m'ont paru les meilleures et que j'ai employées.

« Une terre végétale, même après avoir traversé un crible à sept mailles par centimètre, n'est pas encore assez homogène, en général, pour être représentée avec une absolue fidélité par un échantillon de 10 grammes à 15 grammes. Il suffirait d'un débris d'insecte, de quelque graine ou autre petit corps azoté pour modifier quelque peu le taux d'azote. Je me suis donc imposé tout d'abord la condition d'opérer sur des poids de terre beaucoup plus grands, compris entre 150 grammes et 250 grammes. Ce n'est pas que je croie les résultats d'une analyse d'autant plus exacts qu'ils sont fournis par une plus grande quantité de substance : c'est uniquement pour parer au défaut d'homogénéité que je me suis résigné à faire ce qu'on pourrait appeler *de l'analyse en grand.*

« J'emploie des tubes de Bohême d'une longueur de 2 mètres ; ma rampe à gaz a $1^{m},85$ et compte quarante-huit becs Bunsen. Après lavage et séchage, un tube à analyse est étiré en pointe à une extrémité, puis reçoit les charges ordinaires de tournure de cuivre

grillée ou réduite. Ces charges occupent une longueur de $0^m,58$ à $0^m,60$; la partie du tube qu'elles remplissent est seule protégée par un ruban de clinquant. A la suite vient, entre deux tampons d'amiante, un petit tube bouché à un bout contenant une dizaine de grammes de carbonate de plomb pur. La terre occupe tout le reste du tube, sauf une longueur de $0^m,15$ à l'extrémité que je laisse vide. Le tube est couché au-dessus de la rampe dans une rigole en laiton peu fusible, sur un lit de sable. La rigole est coupée en trois tronçons : le premier, sous les charges de tournure ; le deuxième, beaucoup plus court, sous le tube à carbonate ; le troisième sous la terre. Grâce à ce sectionnement, je puis chauffer soit la tournure, soit le carbonate, sans craindre que le laiton ne conduise la chaleur dans la terre avant le moment voulu.

« L'extrémité étirée du tube est reliée par du caoutchouc à une ampoule bitubulée où se condensera l'eau dégagée au cours de l'analyse ; l'ampoule est reliée, d'autre part, au tube capillaire en plomb d'une trompe à mercure. A l'autre extrémité du tube est adaptée une cornue en verre vert contenant du chlorate de potasse



pur ; son col a été étiré après l'introduction du sel. Pour assurer l'étanchéité de tous les joints, je plonge dans l'eau l'ampoule et ses caoutchoucs ; et je noie dans le mercure le bouchon qui relie le tube à la cornue. La figure ci-jointe me dispensera de plus amples détails sur ces dispositions.

« Pour procéder à l'analyse, je commence par faire le vide. Bientôt le bruit sec produit par la chute du mercure annonce que la

trompe n'aspire plus de gaz. Il ne faudrait pas croire que le vide est dès lors obtenu. La moindre quantité d'eau humectant l'ampoule, le tube ou le cuivre réduit devient une source de vapeur qui alimente seule la trompe. Comme cette vapeur y disparaît brusquement sous la pression de chaque petite colonne de mercure qui tombe, le *bruit du vide* se produit; néanmoins, un reste d'air, dont la tension est équilibrée par celle de la vapeur, demeure stationnaire dans le tube et la cornue, et reste là aussi longtemps que le jeu de la trompe n'a pas épuisé l'humidité. Pour expulser ce reste d'air, j'arrête la trompe, je chauffe le chlorate et en dégage de l'oxygène jusqu'à ce que tout l'appareil en soit rempli à la pression atmosphérique, puis je fais le vide une deuxième fois. Ce n'est pas tout : quand le vide est fait, je chauffe les colonnes de tournure au rouge naissant; je règle la flamme sous le chlorate de manière à entretenir un courant d'oxygène (il faut peu de ce gaz, parce qu'il est extrêmement détendu); je chauffe le carbonate de plomb. Voici ce qui se passe alors : les dernières traces d'air sont apportées dans le cuivre réduit par le courant d'oxygène; là, l'oxygène est absorbé et les abandonne, mais elles sont reprises par l'acide carbonique dégagé du carbonate de plomb et chassées définitivement par la trompe, qui n'a pas cessé de marcher. On peut toujours recueillir le gaz dégagé; quand il est entièrement absorbable par la potasse, j'arrête la trompe; elle ne marchera plus jusqu'à ce que la combustion soit terminée. Alors je chauffe plus fort le carbonate, de manière à remplir tout l'appareil d'acide carbonique à la pression atmosphérique : l'excès de gaz se dégage spontanément par la trompe. Je puis ensuite chauffer la tournure grillée ou réduite au rouge vif sans craindre l'écrasement du tube. Quand la température de la tournure est suffisamment élevée, la cloche destinée à recevoir les gaz étant placée au-dessus du tube de la trompe qui va servir de tube à dégagement, je procède à la combustion.

« Elle se divise en deux temps : pendant le premier, je chauffe progressivement la terre jusqu'au rouge, à partir du tube à carbonate qui ne contient plus maintenant que de la litharge; le chlorate doit demeurer fondu, sans dégager sensiblement l'oxygène. Il se fait ainsi une véritable distillation en vase clos de la matière organique,

distillation durant laquelle les nitrates sont entièrement réduits. Quand toute la terre est rouge, je dégage de l'oxygène pour brûler le charbon azoté, résidu de la première partie de l'opération : c'est le second temps. Le dégagement de l'oxygène se règle sans peine par la flamme d'un fort bec Bunsen, tant qu'on ne dépasse pas la phase *tranquille* de la décomposition du chlorate. La phase tumultueuse, qui n'est pas sans danger pour l'opérateur, peut toujours être évitée par l'emploi d'un excès suffisant du sel.

« La combustion est achevée quand le gaz cesse d'arriver dans la cloche. Il ne reste plus qu'à faire le vide une dernière fois. Mais, auparavant, il faut diminuer le feu, sous toute l'étendue du tube, et laisser tomber la chaleur au rouge très sombre. Le verre reprend alors assez de dureté pour résister à l'écrasement ; mais il garde un reste de mollesse qui le préserve d'une rupture. Celle-ci se produit presque toujours pendant le refroidissement final.

« L'azote est recueilli dans des récipients cylindriques, de capacité variable comprise entre 500 centimètres cubes et 100 centimètres cubes ; ils se terminent en tubes aux deux bouts ; l'un des tubes est étiré et fermé à la lampe. Avant de remplir de mercure l'un de ces récipients, j'y introduis la potasse à 46°-47°, qui doit absorber l'acide carbonique ; je verse ensuite le mercure à l'aide d'un entonnoir dont la pointe descend jusqu'au fond du récipient. La potasse chasse l'air devant elle, et, comme elle mouille le verre, elle n'en laisse pas une trace adhérente à la paroi.

« Quant à la mesure de l'azote, selon le volume du gaz, je l'effectue de l'une des deux manières suivantes : si le volume dépasse 100 centimètres cubes, je transvase dans un volumètre d'environ 400 centimètres cubes, construit dans mon laboratoire et taré par moi-même. Le transvasement se fait sans perte aucune, à l'aide de manipulations très simples que je ne saurais pourtant décrire ici sans l'aide de quelques figures. Je dirai seulement que la potasse ne pénètre pas dans le volumètre et que l'azote est toujours saturé de vapeur d'eau à la tension maxima correspondant à sa température. Si le volume est inférieur à 100 centimètres cubes, je transvase simplement dans des cloches graduées de 100 centimètres cubes, 50 centimètres cubes, 25 centimètres cubes, dont j'ai corrigé la gra-

duation, selon l'usage, par les pesées du mercure contenu jusqu'à certains traits.

« Quand l'azote a été mesuré, je vérifie sa pureté par l'analyse eudiométrique : celle-ci me révèle presque toujours la présence de gaz combustibles, dont la proportion n'atteint pas, le plus souvent, $\frac{2}{1000}$, mais peut s'élever en certains cas jusqu'à 2 p. 100. J'attribue cette imperfection de la combustion à la grande quantité de vapeur d'eau qui dilue les gaz combustibles quand les terres sont argileuses. Qu'une terre contienne, par exemple, 20 p. 100 d'argile retenant 10 p. 100 d'eau combinée : 200 grammes de cette terre fourniront pendant la calcination 4 grammes au moins d'eau dégagée par l'argile ; admettons qu'elle contienne, d'autre part, 1 p. 100 d'humidité, il y aura encore 2 grammes d'eau à ajouter aux 4 grammes précédents, sans compter celle que fournira la combustion de l'hydrogène organique. 6 grammes d'eau donnent 10 litres de vapeur à 100°, et ce volume triple à la température du rouge vif. On conçoit sans peine qu'un pareil volume de vapeur accélère singulièrement la vitesse des gaz à travers le cuivre grillé et en soustrait quelques traces à son action.

« Les terres contenant une quantité tant soit peu notable de matière organique ne m'ont jamais donné de bioxyde d'azote ; on sait cependant combien il est difficile d'éviter ce composé, quand la terre a été mêlée avec de l'oxyde de cuivre fin, selon les anciens errements. Il est probable qu'il prend alors naissance au moment même où l'azote sort de combinaison, grâce à l'excès d'oxygène offert par l'oxyde. Pareille oxydation de l'azote à l'état naissant est impossible pendant le premier temps de mon analyse, puisqu'alors le milieu est essentiellement réducteur. Elle paraît ne pas se produire davantage quand l'ammoniaque et d'autres produits azotés de la calcination de la terre passent sur la tournure grillée et s'y brûlent. Il est à croire encore que, pendant le deuxième temps de l'analyse, l'oxygène gazeux n'a pas, comme celui qui est condensé dans l'oxyde de cuivre fin, le pouvoir d'oxyder l'azote au moment de la combustion du résidu charbonneux. Quoi qu'il en soit, l'azote recueilli dans mes analyses a toujours été exempt de bioxyde, excepté dans un seul cas, celui où la terre est presque entièrement dénuée de matière orga-

nique, comme celle de Grenelle ou celle de Montretout, et ne mérite plus le nom de *terre végétale*. Alors le bioxyde se montre même en très forte proportion relativement à la quantité d'azote libre, laquelle est d'ailleurs très petite. C'est un fait assez singulier, que je constate sans chercher à l'expliquer. La pauvreté de la terre permet heureusement de prévoir la présence possible du bioxyde d'azote dans le gaz obtenu, et de régler en conséquence les opérations analytiques qui doivent suivre la mesure de ce gaz [1]. »

---

1. Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. CVI, séances des 19 et 26 mars 1886, et t. CVII, séance des 30 juillet 1888.

LA

STATIQUE DE L'AZOTE

EN AGRICULTURE

PAR B. FRANCK.

Recherches faites à l'Institut de physiologie végétale de l'École supérieure d'agriculture, à Berlin.

Il n'est point de problème concernant la nutrition des végétaux qui ait donné lieu, depuis un demi-siècle, à des recherches plus nombreuses que celui des origines de l'azote et du mode d'assimilation de ce corps simple par la plante. Le haut prix de l'azote dans les matières fertilisantes fait de la solution de ce problème une question d'une importance de premier ordre pour les cultivateurs. Dans ces dernières années, l'étude des sources de l'azote des plantes est entrée dans une voie nouvelle. Tour à tour affirmée et niée, la fixation directe de l'azote gazeux de l'atmosphère par la plante et par le sol semblait résolue négativement lorsque, récemment, de très curieuses expériences sur les légumineuses sont venues remettre en question l'origine de l'azote de certaines plantes. L'étude de la nutrition azotée des végétaux de cette famille a ouvert, par les travaux de Hellriegel, Schindler, Frank, etc., une série de recherches qui promettent d'être fécondes en résultats.

Depuis soixante ans, les recueils scientifiques français et étrangers ont enregistré un grand nombre de mémoires sur le rôle de l'azote

gazeux, de l'ammoniaque et de l'acide nitrique dans la végétation. M. B. Franck, directeur du laboratoire de physiologie végétale à l'Institut agronomique de Berlin, qui s'occupe particulièrement, depuis 1883, de ces questions et auquel on doit déjà la publication d'intéressants travaux sur cette branche de la physiologie de la nutrition végétale, vient de consacrer un long article à l'exposé de ses récentes recherches, exposé qu'il a accompagné d'une revue critique des travaux de ses devanciers[1].

Les causes de déperdition de l'azote en agriculture et l'examen des sources de récupération de ce précieux aliment des plantes se trouvent résumées dans ce travail dont le titre nous paraît être *Statique de l'azote en agriculture,* comme nous l'avons inscrit en tête de la traduction que nous offrons aux lecteurs des *Annales de la Science agronomique française et étrangère.* La rédaction des *Annales* a pensé qu'une traduction *in extenso* de ce travail considérable intéresserait ses lecteurs, autant par l'exposé des faits et des idées nouvelles qu'il renferme que par le résumé très complet que son auteur y fait des travaux relatifs à l'assimilation de l'azote par les plantes.

L'étude histologique des tubercules des légumineuses, de M. Vuillemin[2], a fait connaître l'état présent de la science anatomique sur ces curieux organes. Le mémoire de M. Franck renferme l'analyse de tous les travaux de quelque importance sur le mode de déperdition et sur les procédés de fixation de l'azote et de ses composés par les divers matériaux que le cultivateur met en œuvre.

Enfin, les expériences de M. Schlœsing, postérieures à la publication de M. B. Franck, et que nous publions en tête de ce fascicule, compléteront l'historique des recherches faites jusqu'à ce jour sur la grosse question de l'origine de l'azote chez les végétaux et du rôle de ce corps, soit à l'état libre, soit à l'état de combinaison binaire dans la nutrition des plantes.

1. *Landwirthschaftliche Jahrbücher,* t. XVII, cahiers 2 et 3, 1888.

2. Voir ces *Annales,* t. I, 1888, p. 121 et suiv.

Nous remercions notre collaborateur M. Gerschel, professeur à l'École nationale forestière, des soins tout particuliers qu'il a apportés à la traduction du travail de M. B. Franck.

(*Note de la Rédaction.*)

INTRODUCTION

A quelles sources la plante croissant sur le sol végétal puise-t-elle l'azote qui est nécessaire à son développement complet et qui se trouve dans les produits de la récolte? C'est une des questions les plus importantes pour l'agriculture. Mais jusqu'ici la physiologie végétale, au domaine de laquelle cette question appartient, n'a pu encore la résoudre définitivement.

Si nous examinons le développement historique de nos connaissances dans cette partie de la science, nous voyons tout d'abord que cette question a seulement été formulée d'une façon claire et exacte depuis l'époque où la chimie moderne a été fondée, c'est-à-dire à la fin du siècle dernier. Avant cette époque, les savants qui s'occupèrent de la nutrition de la plante, durent se borner à regarder le sol et l'eau comme les sources universelles des aliments des végétaux; quelques-uns allèrent jusqu'à conjecturer que peut-être les plantes absorbaient, à l'aide de leurs feuilles, les aliments que l'air leur offrait à l'état gazeux. Le premier progrès, amené par cet essor des sciences naturelles dans la théorie de la nutrition des plantes, fut la découverte de la source du carbone par Ingenhour; déjà en 1779 ce savant reconnut que celui-ci venait de l'acide carbonique contenu dans l'air atmosphérique. Le physiologiste Th. de Saussure, qui, au commencement du siècle actuel, démontra par des recherches exactes et d'une manière irréfutable cette absorption de l'acide carbonique de l'air par les végétaux, et qui montra l'échange de gaz ayant lieu à cette occasion entre la plante et l'air, se posa aussi la question de savoir si l'azote, constituant l'élément principal de l'air

atmosphérique, ne pouvait pas également servir d'aliment aux plantes, notamment, pour la production de leurs combinaisons azotées ; mais ses mesures gazométriques le conduisirent à penser que ce gaz n'était pas absorbé par les plantes[1]. Dans les quarante années suivantes, pendant lesquelles la physiologie végétale n'a guère fait de progrès, la science n'alla pas au delà des principes posés par les découvertes de Saussure, et ce savant lui-même chercha la source des aliments azotés des plantes dans le sol ; il admettait en effet que la plante avait besoin de combinaisons azotées organiques[2].

Avec J. de Liebig commence une nouvelle époque de travaux féconds dans notre domaine. S'appuyant principalement sur des principes théoriques de la chimie, il exprima au sujet de l'absorption de l'azote par les plantes des vues qui poussèrent d'autres savants à faire des recherches importantes. Comme il était impossible, même par les procédés les plus énergiques, de faire entrer l'azote libre en combinaison, Liebig le regarda comme impropre à servir d'aliment au végétal. L'ammoniaque est, d'après lui, la seule substance qui fournisse aux plantes de l'azote assimilable. Cette opinion lui est suggérée par la considération que tout l'azote contenu dans les corps des hommes et des animaux est, après la mort, rendu par la putréfaction sous forme d'ammoniaque à l'atmosphère, et nous revient par les eaux météoriques sous forme de carbonate d'ammoniaque. La preuve en est qu'on trouve de l'ammoniaque dans l'atmosphère, dans l'eau de pluie, dans l'eau de source, dans tous les sols, et qu'on en a découvert dans le suc de beaucoup de végétaux (vigne, bouleaux, érables, betteraves, feuilles de tabac) ; enfin l'expérience montre que la production des parties constitutives de la plante, riches en azote, augmente avec la quantité d'ammoniaque que nous apportons à cette dernière dans l'engrais animal. « Nous trouvons de l'azote dans tous les lichens qui poussent sur les basaltes et autres roches ; nous trouvons que nos champs produisent plus d'azote que nous ne leur en apportons dans l'engrais ; nous trouvons de l'azote dans tous les sols, dans tous les minéraux qui n'ont jamais été en

1. *Recherches chimiques sur la végétation*. Paris, 1804, p. 206.
2. *Annales de la chimie et de la pharmacie*. 1842. Vol. XLII, p. 286.

contact avec les substances organiques. De tous ces faits ressort la conclusion que c'est l'ammoniaque de l'atmosphère qui fournit leur azote aux plantes. » Mais nous verrons plus loin que les faits ne sont pas si simples et que cette vue doit être modifiée en différents sens. Il faut ajouter que Liebig n'oublie cependant pas l'acide nitrique, quoiqu'il ne lui attribue pas grande importance dans la question. Car, d'après lui, les produits finaux de la putréfaction et de la décomposition se présentent, dans les climats froids et tempérés, sous forme de combinaison hydrogénée, d'ammoniaque ; dans les pays tropicaux, au contraire, sous forme de combinaison oxygénée, d'acide nitrique. Il n'ignore pas non plus que beaucoup de nos plantes indigènes contiennent de l'acide nitrique ; il dit néanmoins : c'est uniquement sous forme d'ammoniaque que de l'azote assimilable est offert à la plante spontanée ; c'est l'ammoniaque qui, dans le tabac, l'héliotrope, le chénopodium, la *Borago officinalis* se transforme en acide nitrique, quand ces végétaux poussent sur un sol entièrement dépourvu de nitrates ; les nitrates sont pour eux la condition de leur existence ; ils développent seulement leur plus riche végétation, quand la lumière solaire et l'ammoniaque leur sont offertes en excès, la lumière solaire qui amène dans leurs feuilles et leurs tiges le dégagement d'azote libre ; l'ammoniaque dont la combinaison avec l'oxygène produit dans toutes les circonstances de l'acide nitrique[1].

Dans les années 1850-1860, Boussingault commença une longue série de travaux dont le but était de résoudre cette question par la voie exacte de l'expérimentation, et dont les résultats sont devenus le point de vue où la physiologie végétale se place actuellement dans ce domaine scientifique[2]. Ce savant a d'abord cherché à démontrer par des expériences faites avec le plus grand soin que la plante ne peut pas s'assimiler l'azote atmosphérique libre, et les résultats qu'il a obtenus ont été confirmés par un grand nombre d'autres physiologistes. Mais Boussingault a reconnu également le grand rôle joué par les nitrates dans la nutrition des plantes, que Liebig n'avait

---

1. *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie.* 4e édition. Braunschweig, 1842, p. 64, chap. V.

2. *Chimie agricole et Physiologie.* I. Paris, 1860, p. 69.

pas aperçu ; il a montré que de l'acide nitrique, offert à la plante comme unique source d'azote, peut amener cette dernière à développer et à produire une nouvelle substance végétale azotée, et que même du terreau riche en humus, qui contient encore l'azote principalement sous une forme organique, est loin de produire sur la plante un effet aussi grand que dans le cas où l'on ajoute à ce sol du nitrate au lieu d'humus. Boussingault a également fait sur les changements subis par l'azote contenu dans le sol des expériences sur lesquelles nous reviendrons plus loin ; ici nous dirons seulement qu'il a trouvé qu'après quelque temps cet azote augmentait dans une faible proportion, que les plantes eussent crû dans un sol labouré ou sur un terrain en jachère ; dans le dernier cas on remarquait seulement à côté d'une faible augmentation en azote, qui apparaissait sous forme d'acide nitrique, une perte en carbone par suite de l'oxydation progressive de l'humus. Voici les propositions dans lesquelles Boussingault a consigné ses résultats [1] :

1° Dans un sol extrêmement fertile, les $\frac{90}{100}$ de l'azote qui s'y trouve engagé peuvent ne pas avoir d'effets immédiats sur la végétation, quoique cet azote dérive évidemment et fasse même encore partie de matières organiques ;

2° Les seuls agents capables d'agir immédiatement sur la plante en apportant de l'azote à son organisme paraissent être les nitrates et les sels ammoniacaux, soit qu'ils préexistent, soit qu'ils se forment dans le sol pendant la durée de la culture ;

3° En raison des très faibles proportions d'acide nitrique et d'ammoniaque généralement contenues dans le sol, une plante, pour atteindre son développement normal, doit disposer d'un volume considérable de terre qui n'est nullement en rapport avec la teneur en azote indiquée par l'analyse ;

4° En ce qui concerne l'appréciation de la fertilité actuelle d'un sol, l'analyse conduit aux résultats les plus erronés, parce qu'elle dose à la fois, en les confondant, l'azote inerte engagé dans des combinaisons stables et l'azote susceptible d'entrer dans la constitution des végétaux ;

---

1. *Comptes rendus*, t. XLVIII, p. 307.

5° Le sol, mis en jachère, perd à la vérité une notable quantité de carbone, mais sa teneur en azote, loin de diminuer, semble augmenter ; il reste à décider si, dans les cas où l'augmentation de l'azote est manifeste, il y a eu nitrification, production ou simplement absorption d'ammoniaque.

A propos de la manière dont l'azote se comporte dans le sol, nous nous bornerons à dire ici, que, après Boussingault, beaucoup de savants se sont occupés de cette question, mais qu'ils sont arrivés à des résultats contradictoires. Quelques-uns seulement ont observé une augmentation d'azote dans le sol dénué de végétation, d'autres, au contraire, ont constaté dans ces circonstances une perte en azote organique fixe. Plus tard nous reviendrons sur ces questions avec plus de détails.

En opposition avec les résultats de ces travaux physiologiques, on a fait, dans des essais de culture en grand, des expériences qui semblaient les contredire, et qui ont donné naissance parmi les agriculteurs à des vues différentes.

Les résultats de ces essais, qui ont été faits non seulement par des agriculteurs pratiques, mais encore par des hommes de science, peuvent se résumer ainsi : dans une longue série de cultures sur un seul et même champ, on obtient plus d'azote dans les récoltes qu'il n'en a été apporté par l'engrais ; même sans aucun engrais azoté on peut obtenir dans les récoltes, tous les ans et d'une façon continue, des quantités considérables d'azote. Ces expériences ont dû donner naissance à la conjecture que l'azote libre peut, dans les plantes, former des combinaisons azotées d'après des procédés ignorés de la physiologie végétale. Car le seul procédé, établi d'une façon certaine, d'après lequel une telle combinaison a lieu, à savoir la formation de nitrate d'ammoniaque par la foudre dans l'atmosphère, fournit en réalité de si faibles quantités ($2^{kg},7$ jusqu'à $9^{kg},2$ au plus par hectare et par année), que les grandes quantités d'azote (100 kilogr. et davantage) obtenues, même en dehors de tout engrais azoté, peuvent seulement provenir de cette source pour la moindre part. L'opinion répandue parmi les agriculteurs, d'après laquelle les plantes, particulièrement celles cultivées pour leurs feuilles et les légumineuses, absorbent au moyen de leurs feuilles de l'azote atmosphérique dans

l'air, fournirait certes l'explication la plus simple ; mais cette explication est en contradiction avec les résultats positifs contraires qui ont été obtenus par la physiologie végétale et dont nous avons parlé plus haut. Certes, beaucoup d'agronomes et de chimistes agricoles ont déclaré erronée la manière dont les agriculteurs ont interprété les résultats obtenus par les essais ci-dessus, et, appuyés sur l'incapacité démontrée de la plante d'assimiler l'azote libre de l'air, ils ont cherché la source de l'azote fourni par les récoltes dans les combinaisons azotées existant originairement dans le sol. Ils sont partis de cette hypothèse que les légumineuses, pourvues d'un système radiculaire largement développé et pénétrant profondément dans le sol, peuvent, mieux que toute autre plante agricole, rechercher et absorber les éléments azotés existant dans la terre, que leur enracinement profond leur permet d'atteindre et d'utiliser les nitrates enfoncés dans le sous-sol plus facilement que les autres plantes culturales à racines traçantes, de sorte que les restes de leurs racines et de leurs tiges, relativement riches en azote et laissées après la récolte dans la couche supérieure du sol, peuvent offrir aux céréales qui leur succèdent un engrais avantageux. On faisait valoir à cette occasion que même un sol relativement pauvre en azote contenait d'une façon absolue une quantité d'azote suffisante pour admettre au moins la possibilité pendant un certain nombre d'années d'une série de récoltes de plantes riches en azote, même sans l'apport de nouvelles substances azotées. Il est clair qu'avec cette manière de voir on regarde comme une culture vampire celle qui finit par l'épuisement des éléments azotés contenus dans le sol et par la stérilité, celle qui à un père momentanément riche fait succéder un fils pauvre ; il est clair qu'à ce point de vue le système d'exploitation, dont le fondateur croyait à la possibilité de faire de l'agriculture sans achat d'engrais azotés et sans élevage de bétail, reposerait sur des hypothèses erronées et devrait être rejeté. Mais, d'autre part, il est clair aussi que, si le prétendu enrichissement du sol en azote, grâce à la culture de certaines plantes, n'est pas une erreur, ou avait lieu seulement dans certains cas, par exemple, sur les sols légers, l'agriculture pourrait tirer de ce fait un bénéfice immense. Si, de cette manière, la production agricole pouvait diminuer son prix de revient,

si réellement on pouvait produire d'une façon permanente des quantités beaucoup plus grandes de substances protéiques sur les sols légers, tels qu'on les trouve dans la plus grande partie de l'Allemagne du Nord, nous serions en présence d'une question économique d'intérêt général.

C'est donc un devoir de plus en plus pressant pour la physiologie végétale de reprendre les recherches et de porter enfin la lumière sur ce point obscur de si grande importance.

Je m'occupe de cette question depuis l'année 1883, et j'ai déjà rendu compte de quelques-uns de mes travaux[1]; je vais, dans cet écrit, exposer d'une manière complète les résultats que j'ai obtenus jusqu'ici, ainsi que ceux auxquels sont arrivés les savants qui ont également fait et publié des recherches sur ce sujet.

CHAPITRE PREMIER

DES MÉTHODES

Je commencerai par donner quelques indications sur les méthodes d'analyse que j'ai employées, et sur certaines recherches préliminaires touchant l'application de ces méthodes à notre but.

Il s'agit ici de la méthode de dosage de l'azote, de l'ammoniaque et de l'acide nitrique.

L'azote a été déterminé dans les semences, les plantes et dans le sol, d'après la méthode Will et Varentrap, par la chaux sodée. Tout l'azote engagé dans des combinaisons organiques a donc été obtenu sous forme d'ammoniaque; de la même manière, on a recueilli l'ammoniaque. Resterait donc seulement l'azote contenu dans l'acide nitrique, notamment dans les sols qui renferment toujours une certaine quantité de nitrates. Mais, d'après Schulze[2], en chauffant une substance organique avec de la chaux sodée, on obtient en même

1. *Über die Quellen der Stickstoffnahrung der Pflanzen.* (*Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft*, Heft 7.) — *Die Stickstoff-Frage vor, auf und nach der Naturforscher-Versammlung zu Berlin.* (*Deutsche Landwirthschaftliche Presse*, 1 décembre 1886.) — *Zur Lösung der Stickstoff-Frage.* (*Ibid*, 2 mars 1887.)

2. *Zeitschrift für analytische Chemie*, VI, p. 384.

temps tout l'azote contenu dans l'acide nitrique, pourvu que la teneur de la substance en acide nitrique ne dépasse pas 2-3 p. 100. En réalité, dans les sols employés, le taux d'acide nitrique est tellement faible, comme nous le verrons plus loin, que cette condition est parfaitement remplie. On pouvait donc considérer l'azote obtenu dans les sols par la chaux sodée comme la quantité totale de l'azote qu'ils renferment. Dans la détermination de l'azote des semences, on n'avait pas à tenir compte de l'acide nitrique, car on verra plus tard qu'elles en sont exemptes. On n'avait pas non plus à s'en occuper dans les dosages de l'azote de la plante récoltée, du moins en ce qui concerne le lupin, puisque cette plante, ainsi que nous le montrerons plus loin, peut être considérée comme exempte de nitrates. Quant aux autres plantes nous savons également que leurs nitrates, au moment où on les récolte, ou bien ont complètement disparu, ou existent en si faible quantité que nous nous trouvons dans les conditions mentionnées ci-dessus pour l'extraction complète de l'azote de l'acide nitrique par la chaux sodée.

Les dosages d'azote ont tous été exécutés par M. Wollheim dans son laboratoire. Pour chaque opération on a opéré sur 5-6 grammes de terre pour les sols contenant de l'humus, et sur 25 grammes dans le cas des sols dépourvus d'humus et en général pauvres en azote. Pour s'assurer de la pureté de la chaux sodée, destinée aux analyses, on a d'abord fait un dosage à blanc et on a recueilli les produits dans de l'acide chlorhydrique pur. Quand on avait constaté de faibles traces d'azote, on calcinait la chaux sodée avec du sucre et l'azote se trouvait ainsi chassé sous forme d'ammoniaque; ensuite on a régénéré la chaux sodée, c'est-à-dire transformé de nouveau l'oxyde de calcium en un hydrate par l'action de la vapeur d'eau; la chaux sodée a dû alors être séchée, parce qu'en présence de l'humidité et de la chaux, l'ammoniaque qui s'y trouve est facilement éliminée. D'ailleurs c'est dans le tube à analyse lui-même qu'a eu lieu le mélange de la substance avec la chaux sodée. L'ammoniaque formée fut recueillie à la manière ordinaire dans de l'acide chlorhydrique, transformé en chloro-platinate d'ammoniaque et le dosage a eu lieu comme pour le platine. Pour plus d'exactitude l'acide chlorhydrique se trouvant dans le récipient a seulement été évaporé

au bain-marie et repris ensuite de nouveau par l'eau. Cette opération élimine de petites quantités de produits de la distillation, qui se forment facilement au moment du chauffage, ainsi que des traces de chaux entraînée.

Dans les essais où la quantité d'ammoniaque gazeuse devait être dosée, les produits de la combustion ont été dirigés à travers un tube Will et Varrentrap, qui contenait de l'acide chlorhydrique pur, et l'ammoniaque dosée à l'état de chloroplatinate.

Pour déceler la présence de l'ammoniaque dans des liquides, je me suis servi du réactif de Nessler, consistant comme on le sait en une solution potassique d'iodure de potassium et de mercure et qui, en présence de l'ammoniaque ou des sels ammoniacaux, donne un précipité rougeâtre d'iodure de mercure et d'ammonium (*Iod tetramercurammonium*). Ce réactif est très sensible : en présence de traces d'un sel ammoniacal il produit encore une coloration jaune, surtout si on chauffe le mélange, et au bout de quelque temps il se dépose un léger précipité. Cette propriété m'a suggéré une méthode de dosage de petites quantités d'ammoniaque par la voie colorimétrique. En effet, avec $0^{gr},08$ d'Az H^3 dans un litre d'eau, on obtient une couleur jaune rougeâtre intense, avec $0^{gr},016$ Az H^3 dans un litre, une couleur jaune vineuse légèrement louche, qui n'apparaît nettement qu'après le chauffage : avec $0^{gr},008$ Az H^3 dans un litre d'eau froide la liqueur reste incolore mais prend après le chauffage une légère coloration jaune vineuse.

Pour le dosage quantitatif de l'acide nitrique, différentes méthodes ont été employées. Pour recueillir l'acide nitrique existant dans l'échantillon du sol soumis à l'examen, on a lessivé ce dernier avec de l'eau distillée, et le liquide, qui devait alors contenir tout le nitrate, a été concentré et réduit à un faible volume par évaporation au bain-marie. Ensuite on a analysé le liquide. Dans plusieurs essais, cette analyse a été faite d'après la méthode de Th. Schlœsing, consistant à doser l'acide nitrique sous forme de bioxyde d'azote. On connaît le principe sur lequel repose cette méthode : quand un nitrate est introduit dans une solution d'un *sel de protoxyde de fer* contenant de l'acide chlorhydrique en ébullition, tout l'acide nitrique se décompose en oxygène, qui convertit le protoxyde en peroxyde

et donne du bi-oxyde d'azote, qui se dégage, qu'on recueille sur l'eau dans des éprouvettes et qui est ensuite mesuré ; le volume d'Az O^2 obtenu sert à calculer la quantité d'acide nitrique. Dans d'autres essais, le dosage des nitrates a eu lieu d'après la méthode volumétrique recommandée par Mayrhofer [1]. Dans le liquide à analyser, additionné d'un volume à peu près égal d'acide sulfurique, on fait tomber goutte à goutte de l'indigotine, dissoute dans de l'acide sulfurique et titrée auparavant ; et celle-ci y est décolorée tant que les dernières traces d'acide nitrique n'ont pas disparu. Enfin je me suis souvent servi de la méthode de Wagner [2], bonne surtout pour le dosage de faibles quantités d'acide nitrique ; elle repose sur l'action très sensible exercée par l'acide nitrique sur la diphénylamine, qui prend une coloration bleu intense. Cette méthode recommandée principalement pour l'analyse des eaux de puits peut également être appliquée aux solutions aqueuses des sols évaporées et reprises par de l'eau jusqu'à liqueur claire. D'après la méthode colorimétrique on peut ensuite étendre ces solutions, jusqu'à ce qu'un centimètre cube montre la limite de la réaction sur la diphénylamine ; et, d'après la quantité d'acide nitrique qui se trouve dans ce centimètre cube, on peut évaluer la quantité totale. Dans mes dosages j'ai adopté comme limite de réaction celle où le liquide prend après quelque temps la couleur d'azur qui, d'après le tableau de Wagner, correspond à la présence d'une partie de nitrate dans 200,000 parties d'eau. Le mieux est de faire le dosage dans le cylindre à réaction, où l'on ajoute à un centimètre cube du liquide soumis à l'analyse un volume à peu près égal de la solution de diphénylamine dans l'acide sulfurique. A cause de l'échauffement qui empêche la production de la réaction, il est bon de refroidir le mélange ; alors la coloration bleue se manifeste bientôt, s'il existe une quantité suffisante de nitrate. On prépare le réactif en faisant dissoudre un gramme de diphénylamine dans à peu près 100 centimètres cubes d'acide sulfurique pur.

La diphénylamine est également un excellent réactif pour la dé-

1. *Correspondenz der freien Vereinigung bairischer Vertreter der angewandten Chemie.* 1884, n° 1.

2. *Zeitschrift für Chemie, herausgegeben von Fresenius,* XX, p. 329.

termination qualitative de l'acide nitrique. Molisch l'a recommandé[1] le premier pour reconnaître les nitrates dans les tissus végétaux. Il est préférable pour ce but à la solution de brucine dans l'acide sulfurique parce que la vive coloration bleue obtenue avec la diphénylamine est beaucoup plus caractéristique que la coloration rougeâtre de la brucine, et qu'en outre des colorations rougeâtres analogues sont produites par l'acide sulfurique seul sur maintes substances végétales. Le meilleur procédé consiste à verser la solution de diphénylamine et d'acide sulfurique sur les incisions faites dans les parties vivantes de la plante. La petite quantité d'eau nécessaire à la production de la réaction est précisément fournie par la sève du végétal.

Avant d'employer la diphénylamine pour démontrer la présence de l'acide nitrique dans la plante, je me suis demandé si la coloration bleue, obtenue par ce procédé, est un signe absolument certain de la présence d'un nitrate. Depuis que ce réactif est en usage, on sait qu'il décèle non seulement des nitrates, mais encore des nitrites. Cependant, à cause de la grande analogie des deux combinaisons et à cause de la facilité avec laquelle les nitrites dans la nature se convertissent en nitrates, le doute au sujet de la présence de l'une ou de l'autre de ces substances n'a pas grande importance dans l'analyse du sol ou d'un végétal. Mais il est certain qu'il existe en outre toute une série d'autres agents oxydants, tels que le peroxyde de manganèse, le chromate de potasse, le chlorate de potasse, l'eau oxygénée qui donnent avec la diphénylamine la même coloration bleue. J'ai moi-même vérifié ce fait qui avait déjà été constaté par plusieurs auteurs[2]. Mais ce sont là des substances qu'on peut considérer comme n'existant ni dans le sol ni dans la plante, de sorte qu'elles ne peuvent pas occasionner d'incertitude au sujet de la réaction dont nous nous occupons. Seulement il s'agissait encore de savoir si, parmi les substances existant réellement dans la plante, il n'y en a pas qui donne avec la diphénylamine la même réaction que l'acide nitrique, et, d'autre part, si la réaction de l'acide nitrique sur la diphénylamine n'est pas empêchée par la présence de

1. *Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft.* 1883, p. 150.

2. Laar, *Berichte der chemischen Gesellschaft,* 1882, p. 2086 ; voy. aussi Warington, *Chem. News.* 50e vol. p. 39.

l'une quelconque des substances existant dans la plante. Je me suis assuré qu'il n'en est rien en expérimentant sur les substances végétales suivantes : sucre de raisin, dextrine, inuline, gomme arabique, mannite, acide oxalique, acide tartrique et tartrate de potasse, acide malique, acide citrique, légumine, colle végétale, albumen cristallisé de la noix de Para, albumine, asparagine, leucine, tyrosine, pepsine, coumarine, tannin, solanine, narcotine, salicine. J'ai trouvé qu'aucune de ces substances ne produit seule, en l'absence d'un nitrate, la coloration bleue caractéristique ; la salicine seulement a donné la coloration rouge qu'elle donne, comme on le sait, si on la combine avec l'acide sulfurique. Quand on examinait chacune des substances ci-dessus en la mélangeant avec un nitrate, la réaction caractéristique de la diphénylamine ne manquait jamais de se produire ; pour la coumarine seulement elle était d'un violet foncé au lieu d'être d'un bleu pur, et pour la salicine, comme on peut le conclure de la remarque ci-dessus, elle tirait davantage sur le violet. La coloration en bleu, ou en tout cas, la coloration en violet, que la diphénylamine produit sur des incisions pratiquées sur un végétal, peut donc être considérée comme un signe infaillible de la présence d'acide nitrique.

CHAPITRE II

DES PERTES D'AZOTE EN AGRICULTURE

Étant admis que les combinaisons azotées existant dans le sol arable fournissent le matériel nécessaire à la constitution des éléments azotés des végétaux, et que ces combinaisons azotées végétales existent, d'une part, dans les champs sous forme de débris et résidus des plantes, et y reviennent, d'autre part, sous forme de déchets et de détritus d'animaux, après avoir servi à nourrir les hommes et les animaux, nous constaterons nécessairement, en suivant de près cette circulation, si cette dernière occasionne des pertes d'azote et quelle est leur importance. Si ces pertes ont réellement lieu, il est indispensable de les connaître et d'en tenir compte, quand on veut

étudier les sources d'où la plante tire ses aliments azotés. Bien plus, si cette circulation devait amener des pertes constantes, nous arriverions déjà théoriquement à la conclusion qu'il doit exister également dans la nature des sources intarissables d'azote, pour que l'équilibre puisse se maintenir. Il est donc nécessaire d'étudier dès l'abord les pertes qui nous sont connues. Nous en considérerons trois : la première sous forme de volatilisation de l'ammoniaque ; la seconde, sous forme de lixiviation des combinaisons azotées, particulièrement des nitrates, par l'eau contenue dans la couche arable ; la troisième, sous forme d'élimination et de dégagement d'azote dans la décomposition de certains composés azotés.

I. — Pertes d'azote sous forme de volatilisation de l'ammoniaque.

On sait que la putréfaction et la décomposition de corps organisés azotés sont accompagnées de formation et de dégagement d'ammoniaque. Par cette voie, l'agriculteur perd donc de l'azote provenant principalement des excréments des animaux, et cela non seulement dans l'étable et dans le fumier en tas, mais encore dans l'engrais transporté aux champs. On connaît les moyens de limiter ces pertes dans la mesure du possible.

Mais ce qui est moins connu et ce qui a encore été insuffisamment étudié, c'est la perte d'ammoniaque que nous subissons dans l'emploi de sels ammoniacaux comme engrais, quand ceux-ci ont été enfouis dans la terre. Même si des sels ammoniacaux non volatils par eux-mêmes, par exemple du sulfate d'ammoniaque, sont employés comme engrais, ce serait une erreur de croire que la nitrification produite dans le sol par l'ammoniaque convertit toute l'ammoniaque employée en acide nitrique. Une partie du sel ammoniacal se combine avec d'autres sels terreux, et ainsi se forment des composés ammoniacaux volatils. On ne sait pas encore suffisamment dans quelles conditions et dans quelles proportions ces combinaisons ont lieu. J'ai fait là-dessus des recherches et j'en ai publié quelques résultats[1], qui ont particulièrement trait à l'influence des sols. Le but principal de ces

1. *Deutsche Landwirthschaftliche Presse,* 31 décembre 1887.

recherches était de déterminer si et dans quelles proportions différents sols sont capables de nitrifier des sols ammoniacaux, mais elles ont fourni également une réponse à la question dont nous nous occupons. Des échantillons des sols soumis à l'analyse ont d'abord été dépouillés des nitrates qu'ils contenaient par un lessivage répété avec de l'eau pure; on les a ensuite arrosés avec une solution de sulfate d'ammoniaque de 0gr,05 par 100 centimètres cubes et on les a laissés reposer quelques semaines. Alors on a déterminé combien la masse contenait d'acide nitrique et d'ammoniaque. Voici quels sols et quels éléments constitutifs du sol ont été employés ainsi que les résultats obtenus :

a) Marne argileuse. 10 grammes ont été arrosés avec 40 centimètres cubes de solution d'ammoniaque. Après quelques semaines on a constaté ce qui suit :

Donné.	Sulfate d'ammoniaque.	0gr,020 = 0gr,0042 N
Trouvé.	Acide nitrique.	0 ,006 = 0 ,0013 N
	Ammoniaque	Aucune trace.

b) Sol tourbeux. 4 grammes ont été arrosés avec 40 centimètres cubes de solution ammoniacale. Après 12 semaines on a fait le dosage et on a obtenu comme résultat :

Donné.	Sulfate d'ammoniaque.	0gr,020 = 0gr,0042 N
Trouvé.	Acide nitrique.	0 ,004 = 0 ,00088 N
	Ammoniaque	Aucune trace.

c) Sable mouvant de la Marche. 10 grammes ont été mélangés avec 40 centimètres cubes de solution d'ammoniaque, et après 12 semaines on a trouvé :

Donné.	Sulfate d'ammoniaque.	0gr,020 = 0gr,0042 N
Trouvé.	Acide nitrique.	0gr,00005 = 0 ,000011 N
	Ammoniaque	A peu près la quantité donnée.

d) Carbonate de chaux pur. 5 grammes ont reçu une solution d'ammoniaque de 40 centimètres cubes, et après 12 semaines j'ai trouvé :

Donné.	Sulfate d'ammoniaque.	0gr,020 = 0gr,0042 N
Trouvé.	Acide nitrique.	0gr,006 = 0 ,0013 N
	Ammoniaque	Aucune trace.

e) Grains de quartz, obtenus complètement purs par calcination, traitement à l'acide chlorhydrique et lessivage à l'eau pure distillée : n'ont donné, mélangés avec une solution d'un sel ammoniacal, même après un intervalle de 8 mois, aucune trace d'acide nitrique, mais ont fourni la quantité originaire d'ammoniaque.

f) Alumine obtenue pure en traitant de la marne argileuse par l'acide chlorhydrique, en lessivant, en laissant déposer, et en décantant, a donné le même résultat, quand on l'a soumise à l'expérience précédente.

Il résulte de ces essais que, dans les sols compacts, l'ammoniaque du sel ammoniacal apporté comme engrais disparaît bientôt : une faible partie se convertit en acide nitrique et persiste sous cette forme dans le sol, tandis que la plus grande partie se volatilise. Le sol sablonneux pur, léger, n'élimine pas l'ammoniaque, mais ne possède qu'un faible pouvoir nitrifiant, de sorte qu'il conserve pendant longtemps le sel ammoniacal presque dans son intégrité. Parmi les différents éléments du sol, les grains de quartz aussi bien que l'alumine n'exercent aucune influence, tandis que le carbonate de chaux produit une nitrification progressive et un dégagement partiel de l'ammoniaque. Voici comment on peut se représenter ce dernier processus : le sulfate d'ammoniaque, en présence du carbonate de chaux, subit une décomposition ; l'acide sulfurique est fixé à de la chaux qui cède son acide carbonique à l'ammoniaque ; ensuite le carbonate d'ammoniaque, qui est ainsi formé, se volatilise lentement. Cette volatilisation peut être constatée quelquefois par l'odeur, plus sûrement à l'aide du papier tournesol, et plus exactement encore en recueillant l'ammoniaque dans un récipient d'acide chlorhydrique ou sulfurique. Je me contente ici d'indiquer ces faits essentiels ; je continue encore mes recherches sur ce point.

II. — Pertes d'azote par lixiviation des nitrates contenus dans le sol arable.

On sait que les nitrates sont au nombre des éléments constitutifs du sol les plus facilement solubles dans l'eau, et que celle-ci les enlève très facilement de toutes les espèces de terrain. C'est sur ce

dernier fait que repose le dosage de l'acide nitrique du sol. Il est donc certain que ce dernier perd constamment des nitrates avec l'eau qui s'en écoule, et que, s'il ne se formait pas perpétuellement de nouvel acide nitrique, il y a longtemps qu'il n'en existerait plus dans notre sol.

On a aussi essayé de déterminer pondéralement l'azote perdu de cette manière. Cette perte ressort déjà du fait que toutes les *eaux terrestres* contiennent des nitrates en dissolution ; or celles-ci ne peuvent les avoir recueillis que dans leur passage à travers le sol, puisque les eaux météoriques en renferment seulement des traces. Partout où on a fait des recherches, on a constaté la présence de nitrates dans les sources, les ruisseaux, dans les eaux stagnantes, enfin dans tous les fleuves et les torrents. Nous possédons là-dessus de nombreux dosages, notamment ceux faits par Boussingault[1] dans différentes localités de l'Alsace et de la France. D'après ces dosages les sources contiennent, par litre d'eau, le plus souvent 0gr,0001 — 0gr,05 d'acide nitrique, les lacs 0gr,0001 — 0gr,0008, les rivières et les fleuves 0gr,0003 — 0gr,0113. Ceci nous donne une idée de la quantité énorme d'azote en combinaison qui est enlevé au sol et transporté à la mer d'une façon continuelle. En outre, comme il faut s'y attendre, des eaux qui ont traversé de profondes couches terrestres et qui s'assemblent sous ces dernières, sont particulièrement riches en nitrates. Je veux parler des puits et des nappes d'eau souterraines. Les premiers, situés dans des lieux habités, où des substances organiques en abondance se décomposent, ont une teneur relativement élevée en acide nitrique ; dans les puits de Paris, comme Boussingault l'a constaté par des dosages répétés, elle oscille, par exemple, entre 0gr,0825 et 1gr,1836 par litre. Dans l'eau de la nappe souterraine, aux environs de Berlin, sortie de trous de sondage allant jusqu'à une profondeur de 31 à 62 pieds, on a constaté le plus souvent une teneur en acide nitrique de 0gr,0005 — 0gr,001, dans quelques cas seulement de 0gr,01 par litre[2]. En outre, il est particulièrement important de savoir combien d'acide nitrique est enlevé

1. *Agronomie,* etc. II. Paris, 1861, p. 62.
2. *Reinigung und Entwässerung Berlins.* Cahier XII. Berlin, 1874, p. 628.

au sol arable par les eaux de drainage. D'après Knop [1] l'eau sortie de tuyaux de drainage posés dans des champs près de Leipzig contenait 0gr,0185 d'acide nitrique par litre. Dans ces derniers temps Lawes, Gilbert et Warington [2] ont fait une longue série de recherches sur la composition de l'eau de drainage de Rothamsted et ont particulièrement cherché à déterminer la quantité d'azote que le drainage fait perdre par acre. Il est à peine besoin de dire que de pareilles déterminations n'ont de valeur que pour le cas particulier auquel elles se rapportent, et qu'on n'aurait pas le droit d'appliquer les chiffres obtenus à tous les sols, car ils varient évidemment avec le nombre de tuyaux, la situation du champ, la qualité du sol, l'espèce des plantes, la fumure, les eaux météoriques, etc. Cependant, ils nous permettent d'évaluer d'après un exemple la grandeur de la perte d'azote dans un cas donné. Ces recherches ont démontré que cette perte est moins considérable dans un champ cultivé que dans un champ laissé en friche ou couvert d'une faible végétation, parce que les plantes assimilent les nitrates déjà formés, et en outre qu'elle est plus ou moins grande selon que l'engrais contenait plus ou moins d'azote. La quantité d'azote entraîné dans le cours d'une année, par les eaux de drainage, des terrains non cultivés et non fumés oscilla entre 14kg,3 et 26kg,1 par acre et se monta, dans une moyenne de quatre années, à 18kg,8. D'autre part ces tuyaux de drainage du champ d'expérience consacré au froment donnèrent sur des places qui, pendant plusieurs années, n'avaient reçu aucun engrais azoté une perte de 7-8 kilogr. par acre et par année, tandis que là où l'on avait apporté au printemps sous forme de sel ammoniacal 21kg,42 et 43 kilogr. d'azote, on constata une perte de 10,13 et 19 kilogr. d'azote pour le même temps et la même superficie. Mais on diminua sensiblement cette perte par l'apport d'une plus grande quantité d'engrais minéral, parce que ce dernier favorise la végétation et augmente ainsi la faculté de la plante de s'assimiler l'azote du sol. Le terrain couvert de froment montra aussi que pendant l'été il y a peu ou

1. *Der Kreislauf des Stoffes,* II, p. 60.
2. *Journ. of the Roy. Agric. Society of England,* XVII, p. 241 et 311 ; XVII, p. 1. — *Jahresbericht für Agricultur Chemie,* 1882, p. 45.

point de nitrates dans les eaux de drainage, que ceux-ci y apparaissent seulement après la récolte et qu'on en trouve pendant tout l'hiver.

III. — Perte de l'azote à l'état gazeux dans certaines décompositions de combinaisons azotées.

La nature nous présente divers phénomènes où l'azote, engagé auparavant dans des combinaisons, est mis en liberté et s'échappe dans l'air sous forme d'azote libre. Tous les phénomènes de cette espèce font subir à l'agriculture une perte en azote, et comme ils sont universels et constants, ils jouent un rôle important dans la circulation de cet élément dans la nature.

1. Nous citerons en premier lieu le fait bien connu que, dans la combustion de substances organiques azotées, une partie de l'azote devient libre et s'échappe sous forme de gaz. On sait que dans la combustion l'azote est seulement converti complètement en ammoniaque, quand il est en présence d'une base énergique.

2. Il est démontré que, dans la putréfaction et la décomposition des substances organiques azotées, il se développe de l'azote libre. Les premières recherches sur ce point ont été entreprises par J. Reiset[1], qui s'est demandé si, dans la putréfaction ou la décomposition lente des matières animales et végétales, tout leur azote se retrouve sous forme de sels ammoniacaux, de nitrates, de combinaisons azotées non volatiles, ou bien si une partie se dégage et retourne dans l'atmosphère sous forme de gaz. Les recherches ont été faites d'après la méthode de Regnault pour les essais de respiration ; la substance en putréfaction se trouvait sous une cloche en verre hermétiquement fermée, qui était en communication avec un appareil pour la restitution constante de l'oxygène brûlé et avec un autre pour l'absorption de l'acide carbonique formé. Après avoir laissé pendant quelque temps la substance en putréfaction sous la cloche, on dosa par voie eudiométrique une certaine quantité de l'air extrait de la cloche au moyen de la machine pneumatique. Dans une série

1. *Expériences sur la putréfaction et sur la formation des fumiers. Comptes rendus,* t. XLII, 1856, p. 53.

d'essais on a employé du fumier de cheval (8-10 kilogr.) ou de la viande pourrie, qui restèrent chaque fois pendant quelques jours sous l'appareil. Toujours il se trouvait que la teneur en azote de l'air analysé était supérieure à celle de l'air ordinaire de 1.59 jusqu'à 14.3 p. 100 ; naturellement la teneur en acide carbonique avait sensiblement augmenté. L'excès en azote représente la perte subie par les matières en putréfaction. Ce dégagement d'azote a eu lieu, bien qu'on eût ajouté à ces matières des terres calcaires, pour favoriser la formation de nitrates, qui se sont en effet formés. Peu de temps après, G. Ville[1] publia une relation des essais dans lesquels il avait mélangé des graines de lupin pulvérisées et du sable calciné ; au commencement de l'essai 0gr,238 d'azote étaient mélangés au sable; à la fin de l'essai, 0gr,058 avaient disparu sous forme d'ammoniaque, 0gr,093 étaient restés dans le sable, et 0gr,086 s'étaient dégagés sous forme d'azote libre. Des résultats dans le même sens ont été obtenus par Lawes, Gilbert et Pugh[2]. Ceux-ci mélangèrent du froment, de l'orge ou de la farine de haricot avec de la pierre ponce, et maintinrent le mélange pendant la décomposition dans un courant d'air ; on recueillit l'ammoniaque formée, on la dosa et on trouva qu'il s'était dégagé dans certains cas jusqu'à 12 p. 100 de l'azote contenu dans la substance organique ; mais ce dégagement n'avait pas lieu quand ces substances se décomposaient sous l'eau, c'est-à-dire en l'absence d'oxygène libre.

König et Kiesow[3] ont cherché à déterminer comment cette décomposition se faisait dans un mélange avec de la terre. Ils trouvèrent qu'en laissant putréfier de la poudre d'os seule, il y avait une perte d'azote de 7.84 p. 100. Au contraire, si on exposait à la putréfaction de la poudre d'os ou de viande mélangée avec du terreau ou seulement avec du gypse, il n'y avait pas de déperdition d'azote. Les auteurs n'ont pas donné l'explication de ce phénomène et se sont contentés de constater ce fait si important en pratique.

3. Dans certaines circonstances la réduction des nitrates a lieu

1. *Comptes rendus*, t. XLIII, p. 143.

2. *Philos. Transact.*, 1861, vol. CLI, II, p. 431. — Boussingault, *Agronomie*, II, p. 347.

3. *Landw. Jahrbücher*, II, 1873, p. 107.

avec dégagement d'azote libre. Déjà en 1873 Schlœsing[1] a observé que l'acide nitrique disparaît du sol quand l'air contenu dans ce dernier ne renferme pas d'oxygène. Il a trouvé que dans ce cas une réduction se produisait. Quand il enfermait 12 kilogr. de terre avec une solution de 7gr,5 de nitrate de potasse dans un alambic hermétiquement fermé, le volume de l'air diminuait tout d'abord par suite de l'absorption de l'oxygène et de l'acide carbonique; mais au bout de quelques jours on voyait des gaz se développer vivement, et à la fin on constatait que le nitrate ajouté avait complètement disparu, que par réduction il s'était formé de l'ammoniaque, moins cependant que le cinquième de la quantité qu'aurait donnée la conversion intégrale du nitrate en ammoniaque; mais par contre il s'était dégagé de l'azote libre. Plus tard Gayon et Dupetit[2] ont entrepris des recherches analogues et ont établi la vraisemblance de la participation de micro-organismes à la production des phénomènes dont il est question. Ils mélangèrent de l'eau d'égout, additionnée de 0gr,12 de nitrate de potasse par litre, avec de l'urine en décomposition, et observèrent que les nitrates disparaissaient progressivement, tandis que le liquide se remplissait d'organismes microscopiques; en même temps il se produisait de l'azote libre et de l'ammoniaque. Si, à l'eau d'égout, on ajoutait des excréments liquides de poule, neutralisés à l'aide d'une solution potassique, jusqu'à 5 p. 100 du nitrate pouvaient être réduits avec dégagement d'azote; l'oxygène des nitrates, rendu à la liberté, formait de l'acide carbonique. Quand il y avait contact avec l'air atmosphérique, cet effet ne se produisait pas ou se produisait seulement dans une faible mesure. Les organismes, auxquels il est attribué, sont donc anérobies. Dans leur deuxième rapport, ces deux savants disent qu'il existe aussi des organismes anérobies et aérobies, qui réduisent les nitrates à l'état de nitrites sans développement de gaz, en enlevant aux nitrates deux tiers seulement de leur oxygène. Ils ont élevé et isolé plusieurs formes de lycoperdacées, qu'ils désignent par *a, b, c, d*; ces champignons, disent-ils, vivent en partie dans le liquide, et, en partie, forment

---

1. *Comptes rendus,* vol. LXXVII, 1873, p. 203 et 353.
2. *Comptes rendus,* vol. XCV, 1882, p. 644 et 1365.

des pellicules à la surface ; ils en décrivent aussi certains caractères qui ne suffisent cependant pas pour en faire la détermination mycologique. La quantité de nitrite produite chaque jour par chacune de ces formes de lycoperdacées était inégale. La description de l'essai n'est pas assez exacte pour que l'on puisse reconnaître s'il s'agit ici réellement de différentes formes de lycoperdacées, ayant une force productrice inégale, ou si les résultats inégaux proviennent seulement du nombre différent des lycoperdacées additionnées et de leur développement accidentellement inégal dans les différents vases où elles ont été cultivées. Ce qui prouve d'ailleurs que nous ne nous trouvons pas ici en présence de la découverte d'organismes spécifiques, auxquels est dévolue particulièrement la réduction des nitrates, c'est une communication faite ultérieurement par les deux savants susnommés, et d'après laquelle d'autres lycoperdacées, prises au hasard, par exemple celui du choléra des poules, de la splénite et des bactéries septiques, réduisaient aussi les nitrates à l'état de nitrites, quoiqu'à un degré plus faible. Enfin Dehérain et Maquenne[1] ont trouvé que cette réduction avait lieu seulement dans de la terre riche en humus, et, à la vérité, déjà à une basse température. Une telle terre végétale, mise en un flacon d'une contenance de 250 centimètres cubes et additionnée d'une solution de 1 p. 100 de sucre et de 2 p. 100 de nitrate de potasse, a donné par suite de la fermentation produite un mélange de gaz de 80.5 p. 100 d'acide carbonique, de 8.2 p. 100 de protoxyde d'azote et de 11.3 p. 100 d'azote, tandis que le nitrate avait disparu ; après une nouvelle addition de sucre et de nitrate de potasse, la fermentation a recommencé et a donné 67.3 p. 100 d'acide carbonique, 31.5 p. 100 d'hydrogène et 1.2 p. 100 d'azote. Le liquide avait une odeur d'acide butyrique ; on y a découvert en effet au microscope le champignon de l'acide butyrique décrit par Van Tieghem sous le nom *Bacillus amylobacter*. Çà et là il se produisait aussi une fermentation d'acide lactique, mais sans réduction de nitrates. Par la calcination et le chloroforme, la terre végétale perdait cette propriété, mais elle la recouvrait si, à la terre calcinée, on en ajoutait d'autre qui ne l'était pas. De ce qui précède il résulte que la

1. *Comptes rendus,* vol. XCV, 1882, p. 691, 732, 854.

participation des lycoperdacées à tous ces phénomènes chimiques a besoin d'être vérifiée par des recherches plus exactes.

4. Dans les changements subis par la substance animale, on a aussi observé une formation d'azote gazeux. En faisant des essais sur la respiration, Tacke[1] a trouvé que les animaux soumis aux expériences expiraient le plus souvent une certaine quantité d'azote, particulièrement dans les moments où il se produisait dans les intestins une forte fermentation ; après introduction de nitrate d'ammoniaque, les *quantités d'azote expiré* augmentaient considérablement.

L'auteur attribue ces phénomènes à l'action de la fermentation, d'autant plus qu'en faisant des essais sur la putréfaction de la viande, de la farine, du trèfle, etc., dans une atmosphère confinée, il a également observé une production d'azote qui augmentait en présence de nitrate de potasse, et il a remarqué qu'au bout de plusieurs jours tout l'acide nitrique était réduit.

5. Les faits précédents nous amènent à la question de la perte de l'azote dans le sol. Si des combinaisons azotées organiques perdent en se décomposant une partie de leur azote sous forme de gaz, si les nitrates peuvent être également réduits avec dégagement partiel d'azote, et si ces phénomènes ont lieu particulièrement en l'absence d'oxygène, il faut s'attendre à ce que le sol, même si nous n'y cultivons et n'y récoltons aucune plante, subisse une déperdition constante d'azote, uniquement par suite des réactions qui y ont lieu. Si les essais de König et de Kiesow mentionnés plus haut font présumer que le sol et certains de ses éléments constitutifs peuvent empêcher ce dégagement d'azote, cette présomption n'est pas confirmée par les autres observations que nous citons. Nous connaissons encore trop peu les conditions de ces phénomènes pour pouvoir apprécier la part que prennent à l'effet total les différents facteurs qui varient probablement dans chaque sol, selon sa composition et sa constitution. Pour le moment on ne peut que faire des recherches empiriques sur les diverses espèces de sol pour savoir si, abandonnées à elles-mêmes dans leur état ordinaire, elles perdent de

1. *Tageblatt der deutschen Naturforscher-Versammlung zu Berlin,* 1886, p. 290.

l'azote, et de combien est cette perte. Dans l'intérêt de l'étude générale du rôle de l'azote, il faut que ces deux questions soient résolues avant qu'on aborde la troisième, à savoir : comment se comporte l'azote sous l'action simultanée des plantes et du sol. On trouvera la réponse à cette dernière question si l'on expose pendant quelque temps à l'air libre, dans les conditions les plus naturelles possibles, un échantillon du sol à étudier, et si l'on a soin que pendant ce temps ce sol ne subisse ni pertes par d'autres causes, ni changements par suite d'impuretés venant de l'extérieur. On dosera l'azote avant et après l'expérience et on verra alors si la teneur a été modifiée. Des essais de ce genre ont été entrepris par d'autes savants et par moi-même : je vais ici en rendre compte.

A l'occasion de ses essais de végétation, dont nous parlerons plus loin, Dietzell[1] a aussi fait quelques études comparatives sur le même terreau dépourvu de plantes. Dans presque toutes ses expériences, où il a cultivé du trèfle ou des pois, avec ou sans fumure de kainite et de superphosphate, il a constaté une perte finale en azote qui allait jusqu'à 15.32 p. 100 ; cette déperdition était de 10.24 p. 100, si l'on apportait ces deux engrais sans rien cultiver ; seulement, dans un essai avec du terreau où il n'y avait ni plantes ni engrais, il a trouvé que l'azote du sol avait augmenté de 0.26 p. 100.

Des essais analogues, faits par Berthelot[2] avec un sol silico-argileux et du kaolin brut, tendraient à démontrer au contraire que, dans un sol abandonné à lui-même et exposé à l'air, la quantité de l'azote augmente ou du moins reste la même. Nous y reviendrons plus loin quand nous parlerons des réactions chimiques qui fixent l'azote libre.

Depuis l'été 1884, j'ai fait tous les ans des essais avec différents sols. Les terres expérimentées étaient placées dans de grands vases ouverts en verre ; les plus grands seulement, à forme cylindrique, étaient d'argile cuite, vernissée complètement à l'intérieur pour qu'il ne se produise pas d'évaporation par les parois. Comme ces essais étaient faits comparativement à d'autres avec le même sol, mais qui

1. *Sitzung der Sektion für Landw. Versuchswesen der Naturforscher-Versammlung zu Magdeburg,* 1884.

2. *Comptes rendus,* 1885, p. 775.

était pourvu de végétation, la forme et la dimension des vases pour les premiers étaient les mêmes que pour les seconds. Pour ceux-ci il s'agissait d'opérer sur un volume de terre correspondant jusqu'à un certain point à l'étendue naturelle du système radiculaire d'une plante de lupin poussant dans le sol. J'ai donc choisi des vases cylindriques de 80 centimètres de profondeur et $17^{cm},5$ ou 11 centimètres de largeur. La superficie était à la vérité petite, mais le sol était profond ; la ventilation y était donc faible. Pour varier les expériences, j'ai aussi employé des vases en verre ayant 40 centimètres de diamètre et 15 centimètres de profondeur, et je les ai remplis de terre jusqu'à une hauteur d'environ 8 centimètres. Tous les essais ont été faits à l'air libre ; les vases restèrent là plusieurs mois et furent arrosés seulement avec de l'eau distillée. Si çà et là il se développait spontanément quelque plantule de mauvaise herbe, comme il s'en trouve dans tous les sols naturels, elle était rapidement enlevée, de sorte que ces échantillons de sol restèrent jusqu'à la fin de l'expérience dépourvus de végétation. Pour éviter les souillures des insectes, etc., ou bien j'ai recouvert les vases d'une cage en fil de fer, ou je les ai portés, pour exclure en même temps l'eau de pluie, sous un toit en verre ayant $7^{mq},5$ et élevé à $1^{m},35$ au-dessus du sol ; les quatre côtés étaient fermés à l'aide d'un filet tendu. De chaque sol mélangé auparavant le plus également possible, un échantillon était réservé pour doser l'azote avant l'essai. On le dosait une deuxième fois à la fin de l'expérience pour constater les changements survenus pendant la durée de celle-ci. Chaque fois on faisait plusieurs dosages, jusqu'à concordance. Les sols ont été analysés après avoir été séchés à l'air, pour éviter toute déperdition d'azote qui aurait été à craindre si on les avait chauffés davantage. Ensuite on a déterminé aussi la perte en eau éprouvée par la substance séchée à 50 degrés centigrades, et, d'après ce poids, on a calculé la teneur en azote, telle qu'elle est indiquée par les chiffres ci-dessous. C'est à dessein qu'on n'a pas fait la dessiccation à une température trop élevée, parce que les sols, particulièrement ceux qui sont riches en substances organiques, se décomposent certainement déjà à 100 degrés. Les dosages d'ammoniaque ont eu lieu par la combustion avec la chaux sodée et par la conversion de l'ammoniaque formée en

chloro-platinate d'ammoniaque. On a obtenu ainsi tout l'azote du sol, non seulement celui qui y était sous forme d'ammoniaque et de substance organique, mais encore celui qui s'y trouvait sous forme d'acide nitrique, parce que la teneur de ces sols en nitrate est dans les limites, où l'on obtient aussi par la combustion avec la chaux sodée tout l'azote de l'acide nitrique. Nous donnons ici les résultats d'après les différentes espèces de sol employées.

a) *Sol sablonneux humique.* Ce sol, pris dans un jardin, a été d'abord séché à l'air, passé au tamis fin, pour le débarrasser des éléments grossiers, et a été ensuite bien mélangé. En premier lieu on a fait un certain nombre d'essais avec des cylindres étroits et profonds. Voici les résultats obtenus :

NATURE DES VASES.	DURÉE de l'essai.	QUANTITÉ de terre employée, séchée à l'air.	TENEUR du sol en azote p. 100.		ACIDE NITRIQUE du sol en p. 100.		AZOTE TOTAL du sol d'après calcul.		PERTE d'azote en p. 100 de l'azote existant primitivement.
			Avant l'essai.	Après l'essai.	Avant l'essai.	Après l'essai.	Avant l'essai.	Après l'essai.	
	Jours.	Gr.					Gr.	Gr.	
1. Cylindre en argile, 80 cm de profondeur, 17cm,5 de diamètre.	174	21 500	0.0957	0.0907	0.00037	0.00018	20,5755	19,5112	— 5.1
2. Cylindre en verre, 80 cm de profondeur, 11 cm de diamètre.	198	9 675	0.0957	0.0837	0.00037	0.00054	9,2589	8,0979	— 12.5
3. Cylindre en verre, 80 cm de profondeur, 11 cm de diamètre.	198	7 500	0.0957	0.0832	0.00037	0.00022	7,1775	6,2400	— 8.69

On voit que là où l'aération du sol était restreinte, il y a toujours eu une perte d'azote. Celle-ci pourrait être mise au compte de l'ammoniaque et des combinaisons azotées, car la très faible teneur en acide nitrique n'a pas été notablement diminuée ; elle a plutôt quelque peu augmenté. Mais comme il se forme continuellement du nitrate dans le sol et qu'ici il n'y avait pas de plantes qui l'eussent absorbé pour leur nutrition, il se pourrait bien que nous eussions affaire ici à une réduction constante de nitrates avec dégagement d'azote, telle que nous avons appris à la connaître plus haut.

Maintenant je tenais à voir comment ce sol se comporterait dans de meilleures conditions d'aération. Je me suis donc servi pour une autre série d'essais de cuvettes en verre ayant 40 centimètres de

diamètre et 15 centimètres de profondeur, qui furent remplies de terre jusqu'à la moitié de leur hauteur. Comme je voulais en même temps vérifier la question de savoir si les micro-organismes du sol prenaient part aux transformations de l'azote, je remplis une de ces cuvettes avec un échantillon de terre analogue, mais qui avait été maintenu auparavant pendant plusieurs heures dans un appareil de stérilisation. L'essai a duré 180 jours. En voici le résultat :

NATURE DES SOLS.	P. 100 D'AZOTE contenu dans le sol.		PERTE D'AZOTE en p. 100 de l'azote existant primitivement.
	Avant l'essai.	Après l'essai.	
Sol non stérilisé	0.0850	0.0808	— 4.94
Sol stérilisé.	0.0850	0.0803	— 5.52

Il est manifeste que dans ce dernier cas, où une plus grande surface du sol était en contact avec l'air, la perte d'azote a été moindre que dans l'essai précédent où l'aération du sol était très faible. Entre le sol stérilisé et le sol non stérilisé, la différence n'est pas bien tranchée ; il semble cependant que le premier ait perdu un peu plus d'azote.

b) *Sol calcaire riche en humus.* On a pris de la terre calcaire dans une futaie de hètre, on l'a débarrassée des éléments les plus grossiers en la tamisant, et mélangée ensuite intimement. Dans une des larges cuvettes on a placé un échantillon stérilisé, dans l'autre un échantillon qui avait été maintenu plusieurs heures dans un appareil de stérilisation ; les cuvettes ont été remplies a peu près jusqu'à la moitié, comme dans l'essai précédent ; et l'expérience a duré 200 jours.

NATURE DES SOLS.	P. 100 D'AZOTE contenu dans le sol.		PERTE OU GAIN d'azote en p. 100 de l'azote existant primitivement.
	Avant l'essai.	Après l'essai.	
Sol non stérilisé	0.4252	0.4342	+ 2.12
Sol stérilisé.	0.4252	0.4318	+ 1.55

c) *Sol marécageux des prés.* On a prélevé trois échantillons homogènes dont l'un a été séché immédiatement et a servi à doser l'azote du sol primitif; les deux autres ont été placés dans de larges cristallisoirs, comme dans l'essai précédent, l'un à l'état non stérilisé, l'autre stérilisé. En établissant un mélange uniforme et en versant la terre dans les vases, on a nécessairement fait perdre à cette dernière sa cohésion naturelle, et quoiqu'elle ait toujours été maintenue suffisamment humide par un arrosage avec de l'eau distillée, elle formait cependant une masse assez meuble et facilement pénétrable à l'air. Durée de l'expérience : 200 jours.

NATURE DES SOLS.	P. 100 D'AZOTE contenu dans le sol.		PERTE OU GAIN d'azote en p. 100 de l'azote existant primitivement.
	Avant l'essai.	Après l'essai.	
Sol non stérilisé	3.0672	3.2156	+ 4.84
Sol stérilisé.	3.0672	3.0391	— 0.91

Pour savoir si ces pertes d'azote proviennent d'une volatilisation de l'ammoniaque du sol si longtemps exposé à l'air, j'ai fait l'essai suivant. De larges cuvettes basses, remplies d'un sol marécageux maintenu assez humide, ont été placées sous une cloche tubulée fermée avec du mercure ; au moyen d'un aspirateur j'ai fait passer tous les jours à travers l'appareil de l'air qui, avant d'entrer dans la cloche avait été lavé dans de l'acide sulfurique et ainsi dépouillé de son ammoniaque. En sortant, l'air traversait un récipient rempli d'acide chlorhydrique, dans lequel l'ammoniaque du sol était recueillie et dosée. Après 180 jours, le sol avait seulement cédé à l'air 0.0004 p. 100 d'azote sous forme d'ammoniaque. Mais l'azote du sol, qui avant l'expérience était de 1.1836 p. 100, était réduit, après l'expérience, à 1.0976 p. 100. Par conséquent la volatilisation de l'ammoniaque n'est qu'une cause tout à fait secondaire de la perte d'azote ; celle-ci provient surtout d'une décomposition de la substance azotée avec dégagement d'une partie de l'azote ; ce qui s'accorde avec l'observation faite par les savants cités plus haut relativement à la décomposition d'autres corps azotés.

Les résultats obtenus pour les sols humiques mentionnés sous les nos 2 et 3 corroborent le fait constaté auparavant, à savoir : quand l'air trouve un accès facile dans le sol, la perte d'azote est empêchée. Nous trouvons même dans la plupart des cas une faible augmentation de ce principe. Il est difficile de reconnaître les diverses causes de cette augmentation. Peut-être certains éléments constitutifs du sol ont-ils contribué à diminuer la perte d'azote, de la même manière que dans les essais de König et de Kiesow cités plus haut ; mais en tout cas nous devons avoir affaire ici à une autre réaction dans le sol, qui produit précisément d'une façon inverse une fixation d'azote, et qui plusieurs fois a été assez forte pour empêcher le dégagement de ce gaz. Quant aux sols stérilisés, on a vu que chez eux, en général, le dégagement d'azote est plus fort ou la fixation d'azote plus faible, ce qui d'ailleurs revient au même. Sur lequel de ces deux phénomènes la stérilisation exerce-t-elle le plus d'influence ? Voilà ce que ces essais ne peuvent pas nous dire, puisque les chiffres obtenus expriment seulement la différence des effets produits.

Nous verrons plus loin que les sols exempts d'humus, abandonnés à eux-mêmes et à l'action de l'atmosphère ne perdent pas d'azote ; ils en fixent au contraire.

6. Nous arrivons enfin à la question : *La plante vivante perd-elle aussi de l'azote libre ?* Si la germination et le développement des végétaux devait nécessairement entraîner avec eux une déperdition d'azote, nous aurions là une nouvelle déperdition de cet élément dans l'agriculture. Les physiologistes ont souvent recherché comment l'azote des semences se comporte dans la germination. Boussingault[1] a fait germer et végéter 10 graines de pois pendant plusieurs semaines dans l'obscurité, et a trouvé alors dans les plantules une teneur en azote de 0gr,072, tandis que les semences employées en contenaient 0gr,094, la perte était donc de 0gr,022 ; dans les mêmes essais, faits avec 46 grains de blé et un grain de maïs, on n'a constaté au contraire aucune perte d'azote. Or, comme les pois ont pourri en partie pendant l'essai, la perte d'azote s'explique facilement, car comme nous l'avons vu plus haut, quand des corps riches en azote entrent en putréfaction, il y a dégagement d'ammoniaque et aussi d'azote libre.

1. *Comptes rendus*, t. LVIII, p. 881.

Dans la germination des haricots, Schröder[1] et Karsten[2] ont également observé une perte d'azote. Sachsse[3], au contraire, qui a fait germer des pois dans l'obscurité sur une plaque d'argent pendant 184 heures, en maintenant un courant d'air constant, n'a pu constater aucune perte d'azote d'une façon certaine, car les différences en comparaison de la teneur en azote des semences étaient si faibles qu'elles échappaient à l'observation. Dans des essais faits avec des graines de chanvre et de maïs, Detmer[4] est arrivé au même résultat. Les expériences de Leclerc[5], faites avec des grains d'orge, montrèrent également que, si ceux-ci germaient d'une façon normale, ni l'azote de l'atmosphère confinée, dans laquelle la germination avait lieu, n'augmentait, ni la quantité de l'azote des plantules ne différait sensiblement de celui contenu dans les semences employées. Le même fait a été constaté par Loskovsky[6] dans la germination des citrouilles. On peut donc admettre comme certain que par la germination elle-même, les semences ne perdent aucune partie de leur azote, mais qu'en fait il peut se produire néanmoins une certaine déperdition, due aux phénomènes de la putréfaction, et subie par les parties azotées de la plante non utilisées par la plantule. Je parle ici non seulement du tégument, mais encore du tissu de l'endosperme et des cotylédons, dont les éléments cellulaires azotés ne sont pas complètement résorbés. Tel est notamment le cas pour les grands cotylédons, si riches en azote, des légumineuses, comme on a pu le voir déjà par les petites pertes d'azote qui ont été observées dans les essais de germination faits avec ces végétaux, et dont nous avons parlé plus haut.

Dans les derniers temps, Boussingault[7] a émis l'assertion d'après laquelle il est encore une autre circonstance où la plante vivante subit une perte d'azote, à savoir quand elle décompose des nitrates qui lui sont offerts pendant la végétation dans l'obscurité et

1. *Versuchsstationen*, vol. X, p. 493.
2. *Ibid.*, vol XIII, p. 193.
3. *Keimung von Pisum sativum*. Leipzig, 1872, p. 22.
4. *Physiologisch-chemische Untersuchung über die Keimung*, 1875, p. 27 et 68.
5. *Comptes rendus*, t. LXXX, p. 26.
6. *Versuchsstationen*, vol. XVII, p. 219.
7. *Ann. Chim. et Phys.*, série 5, t. XXII. 1881.

qu'elle produit un dégagement d'azote libre. Cette hypothèse a été suggérée à ce savant à l'occasion des essais où il se proposait d'étudier la question de savoir si l'incapacité connue de la plante d'élaborer dans l'obscurité de l'acide carbonique s'étendait aussi aux principes nutritifs du sol, particulièrement à l'acide nitrique. Dans un sol stérilisé, arrosé avec de l'eau exempte d'ammoniaque, il a cultivé des haricots et ajouté au sol un peu de nitrate. Le résultat a été que les plantes comparées à la semence ont subi une légère augmentation d'ammoniaque, à savoir de 0gr,0064, et que 0gr,1364 d'acide nitrique ont disparu. Mais comme une culture parallèle sans nitrate a eu, après le même laps de temps, la même apparence, un poids sensiblement égal, presque exactement la même quantité d'ammoniaque, on pouvait en conclure que l'augmentation de l'ammoniaque dans les plantes, relativement à celle des semences, ne provenait pas de l'acide nitrique, mais qu'elle était un produit de la germination. En outre, l'ammoniaque disparut de la plante dès qu'elle eut été exposée à la lumière. Maintenant il s'agissait de savoir si l'azote de l'acide nitrique disparu s'était dégagé sous forme de gaz ou s'il avait été assimilé. Dans ce but, Boussingault entreprit un essai avec du maïs dans la chambre obscure. La semence fut semée dans un sol dépourvu de toute substance organique, et arrosée avec de l'eau exempte d'ammoniaque, dans laquelle on avait dissous seulement du nitrate de potasse. Dans les plantes récoltées il y eut 0gr,057 d'azote en plus que dans la semence employée. On y trouva 0gr,009 d'ammoniaque et 0gr,312 de salpêtre, dont la teneur en azote est de 0gr,0522. Si l'on retranche cette dernière quantité de l'azote total de la récolte, 0gr,255, il reste comme azote revenant à la substance organique 0gr,1728. Ce chiffre correspondait assez bien à l'azote contenu dans la semence, 0gr,168, car la différence de 0gr,0048 provient des défauts inhérents à l'opération. Par conséquent la plante a absorbé de l'acide nitrique dans l'obscurité, et a augmenté sa teneur en azote ; cette augmentation correspond assez exactement à l'azote trouvé dans la plante sous forme d'ammoniaque et d'acide nitrique ; aussi Boussingault conclut il de la manière suivante : il n'y a pas eu dans l'obscurité d'assimilation d'azote, quoique la plante ait absorbé de l'acide nitrique. Mais lorsqu'on additionna les 0gr,312

de salpêtre trouvés dans la plante et les 1^{gr},594 encore présents dans le sol, on trouva 1^{gr},906 de salpêtre, tandis qu'on avait employé 3^{gr},200 pour l'arrosage. Dans les 1^{gr},294 de salpêtre qui manquèrent, il a donc disparu 0^{gr},177 d'azote sous forme de gaz. Boussingault a fait le même essai avec des haricots et est arrivé au même résultat; seulement le maïs a toujours perdu un peu plus d'azote que les haricots.

Ce savant cherche à expliquer ce fait par la considération suivante : Il n'y a aucune raison de croire que les cellules de la plante étiolée décomposent un sel qu'elles ne s'assimilent pas. Aussi les racines ont-elles toujours été trouvées saines et exemptes de champignons. Mais, ajoute-il, on sait que les corps organiques morts produisent aussi une décomposition des nitrates : que, notamment dans un sol végétal, placé sous l'eau, les nitrates disparaissent en partie, et reparaissent de nouveau, quand l'air pénètre dans le sol. Il attribue donc le dégagement d'azote au contact des racines, et pense que la racine vivante de la plante étiolée se comporte ici comme un corps mort, mais qu'une matière organique sécrétée par la racine est la cause efficiente. Il croit pouvoir rendre visible cette sécrétion organique de la racine, en chauffant du sable blanc calciné et lavé auparavant, dans lequel avaient crû des plantes de maïs ; dans cette opération ce sable noircit uniformément, tandis qu'il reste complètement blanc quand rien n'y avait poussé.

Avant de critiquer l'explication de ces résultats, je dois faire ressortir que cet essai présente quelques défauts, qui empêchent de voir parfaitement comment l'azote se comporte. On n'y a point éliminé les petites quantités d'ammoniaque de l'air atmosphérique et surtout on n'a point tenu compte de la quantité d'azote qui a pu se dégager de la culture sous forme de gaz ammoniac. En outre, il semble que la présence du sol empêche de porter un jugement sur la manière dont se comporte la plante prise à part, puisque le sol peut subir de son côté des pertes d'azote, ainsi que nous l'avons vu plus haut. Pour répondre à la question dont nous nous occupons, j'ai donc disposé l'essai de façon à ce que les plantes fussent élevées dans de l'eau chimiquement pure. Comme plante d'essai, j'ai employé le *Phaseolus multiflorus,* qui s'est montré particulièrement propre à mon but,

puisqu'il a parfaitement supporté, du moins en croissant dans l'obscurité, le séjour dans une solution d'aliments préparés avec de l'eau distillée et dans une atmosphère confinée relativement humide. Je me suis servi de cloches en verre cylindriques de 90 centimètres de hauteur et 13 centimètres de diamètre, reposant sur une cuvette en verre remplie de mercure de façon que la cloche était close par le bas. Sur chaque pied il y avait un vase en verre de la contenance d'un litre, rempli de la solution des principes nutritifs dans lesquels la plante devait pousser. Voici le procédé employé : on bourra le large goulot du dernier vase avec du coton de verre pur et on y enfonça les semences de haricots auparavant pesées et soigneusement essuyées ; cette dernière opération a été un excellent moyen pour empêcher le développement des moisissures à leur surface pendant la durée de la végétation. Immédiatement après les semailles, les cloches furent posées sur les vases dans lesquels, grâce à l'humidité existante, les semences germèrent, les racines pénétrant dans la solution alimentaire et la tige poussant vers le haut. A leur partie supérieure, les cloches étaient munies d'un tube, qui était fermé à l'aide d'un bouchon en caoutchouc percé de deux trous, et que l'on cimenta hermétiquement. A travers le bouchon deux tubes en verre pénétraient dans l'intérieur de la cloche et servaient à pouvoir y faire entrer un courant d'air au moyen d'un aspirateur placé à l'extérieur. Le tube abducteur descendait jusqu'à la moitié inférieure de la cloche, et avait son ouverture inférieure à côté de la plante, de façon que l'air circulant à cet endroit et contenant peut-être de l'ammoniaque, pût être aspiré. A l'extrémité extérieure du tube abducteur était adapté un tube à azote Varrentrapp-Will, qui était rempli d'une solution d'acide chlorhydrique pur, et portait à son embouchure une trompe à mercure, qui laissait sortir l'air intérieur et ne permettait pas à l'air extérieur de pénétrer dans le récipient d'acide chlorhydrique. Tout l'air sortant de l'appareil était obligé de céder les petites quantités d'ammoniaque qu'il pouvait contenir à l'acide chlorhydrique, dans lequel elles ont été dosées à la fin de l'expérience au moyen du bi-chlorure de platine. Le tube abducteur descendait fort peu au-dessous du bouchon en caoutchouc, et communiquait à l'extérieur avec l'appareil suivant qui empêchait aussi bien l'entrée que la sortie

de l'ammoniaque. Le tube formait un coude à l'extérieur et était muni d'une fermeture à mercure, pour mettre obstacle à l'entrée d'air étranger non lavé, et d'une soupape à mercure qui permettait à la vérité l'accès de l'air fourni par l'aspirateur, mais qui empêchait la sortie de l'air hors de l'intérieur de la cloche et par conséquent la perte de l'ammoniaque qui pouvait se dégager de la plante. A travers le tube, fermé à l'aide de mercure, il entrait dans la cloche de l'air, qui avait passé auparavant dans de l'acide sulfurique et était ainsi dépouillé de son ammoniaque. Ce résultat était obtenu parce que ce tube communiquait par un coude avec un vase cylindrique fermé, contenant des morceaux de pierre ponce imbibés d'acide sulfurique, et parce qu'un autre tube extérieur descendant presque jusqu'au fond de ce dernier introduisait l'air dans le vase d'absorption. Autour de celui-ci il y avait cinq appareils de cloche semblables pourvus d'une trompe à mercure et d'un récipient à acide chlorhydrique, et comme chacun d'eux communiquait par son tube adducteur avec le vase d'absorption, ce dernier fournissait en même temps à tous les cinq appareils de l'air exempt d'ammoniaque. Après que les appareils eurent reçu la semence, on introduisit pendant quelques jours quotidiennement dans chaque cloche un courant d'environ 20 litres d'air atmosphérique.

Au moyen de ces appareils, je devais arriver à obtenir une notion exacte de la manière dont l'azote se comporte dans les circonstances en question. Mais il me semblait que dans cette expérience la question posée devait être divisée ; car pour n'avoir pas fait cette division, Boussingault a été conduit à une interprétation arbitraire des résultats qu'il avait obtenus. Il a trouvé que la teneur en azote de la substance organique était à peu près la même dans ses plantes élevées dans l'obscurité et dans les semences employées. Sans doute il a constaté un faible excédent dans les plantes, mais celui-ci provenait de l'acide nitrique que le végétal avait absorbé et qu'il n'avait pas décomposé. Cependant on n'a pas le droit de tirer de cette constatation la conclusion que la plante n'a pas assimilé d'acide nitrique, qu'elle n'a rien perdu non plus de son azote organique, et que la perte reconnue en réalité dans la totalité de l'acide nitrique provient d'une décomposition d'acide nitrique effectuée dans l'obscurité

en dehors du végétal par les sécrétions des racines. On observerait les mêmes phénomènes, si une partie de l'acide nitrique absorbé était converti par la plante en substance organique, et si une autre partie à peu près égale des combinaisons azotées organiques de la plante disparaissait pendant la végétation dans l'obscurité par décomposition et dégagement d'azote. J'ai donc entrepris les essais en excluant d'abord les nitrates, pour voir comment la plante se comporte pour sa propre part. Sans doute cette question a déjà été souvent élucidée au point de vue de la germination dans les essais cités plus haut, mais il m'a semblé nécessaire de l'étudier aussi expérimentalement, avec toutes les précautions possibles relativement à ces végétations prolongées dans l'obscurité.

Comme aliment liquide j'ai employé une solution de principes nutritifs *chimiquement purs* et exempts d'azote. Chaque vase de végétation contenait deux semences de haricot aussi homogènes que possible ; chacune d'elles, séchée à l'air, pesait 1gr,160 et avait, séchée à 50 degrés centigrades, une teneur en azote de 3.3172 p. 100. Les appareils étaient disposés de façon que, si dans l'un d'eux les semences venaient à moisir ou à se gâter, le contenu des autres ne fût pas atteint. L'expérience a duré 41 jours, et pendant cette période l'appareil de la chambre obscure se trouvait dans une obscurité constante, interrompue tous les jours seulement pendant quelques instants par une faible flamme de gaz, nécessaire au fonctionnement de l'appareil. Aussi les plantes se développèrent-elles à l'état d'étiolement complet. L'expérience cessa lorsque les plantes eurent atteint une grande hauteur et que les premiers signes de dépérissement se manifestèrent. Pour recueillir tout l'azote des végétaux, on réunit en une masse non seulement toutes les plantes, mais encore tout le coton de verre avec les résidus de semences qui y étaient mêlés, ainsi que le contenu desséché de chacun des vases ayant servi aux cultures dans l'eau ; le dosage de l'azote fut fait pour chaque appareil séparément. Dans quatre appareils, les résidus de semence ne montraient aucune formation de moisissure, et le système radiculaire était normal et sain ; dans le n° 5 seulement les semences étaient moisies et les plantes, relativement rabougries, étaient brunes et mortes. Le tableau suivant donne les résultats de cet essai :

	POIDS des 2 haricots semés, séchés à l'air.	AZOTE des semences calculé d'après la substance séchée à 50°.	PLANTES RECUEILLIES avec les résidus de la solution de principes nutritifs et le coton de verre ; quantité et état.	AZOTE de la récolte calculé d'après la substance séchée à 50°.	AZOTE de l'ammoniaque volatilisée, entrée dans le récipient.	AZOTE perdu dans le nitrate disparu.	PERTE totale d'azote.
	Gr.	Gr.		Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
I.	2,8261	0,09375	5gr,1 ; une plante, haute de 50 centim., avec deux paires de feuilles développées, et une de non développées ; l'autre plante, haute de 30 centim., avec deux paires de feuilles développées.	0,07436	0,00012	0,07478	0,01897
II.	2,8298	0,09387	6 gr. ; une plante, haute de 86 centim., avec trois paires de feuilles développées, et une à l'état de bourgeons ; l'autre plante avec une paire de feuilles développées et une paire à l'état de bourgeons.	0,7015	0,00012	0,07057	0,02330
III.	2,9771	0,09711	5gr,4 ; une plante, haute de 80 centim., avec trois paires de feuilles ; l'autre plante, haute de 60 centim., avec deux paires de feuilles.	0,07492	0,00038	0,07530	0,02181
IV.	3,1365	0,10101	7gr,4 ; une plante, haute de 71 centim., avec trois paires de feuilles ; l'autre plante, haute de 55 centim., avec trois paires de feuilles.	0,08939	0,00025	0,08961	0,01440
V.	2,6920	0,08930	7gr,3 ; les deux plantes, hautes de 35 centim., ont chacune une paire de feuilles.	0,06013	0,00072	0,06085	0,02845

Il est incontestable que ces essais ont donné une perte d'azote tellement grande, qu'on ne peut pas l'attribuer aux erreurs inévitables dans une analyse, et qui doit remonter nécessairement à une cause tout à fait déterminée, puisqu'elle est partout sensiblement égale. L'essai n° 5, dans lequel la végétation, comme nous l'avons dit, a souffert par suite de phénomènes de putréfaction et de dépérissement, montre aussi la plus forte perte en azote. Ce fait et la circonstance que, dans les essais de germination de légumineuses cités plus haut, on a observé ordinairement une perte d'azote en corrélation avec des phénomènes de putréfaction, font croire que peut-être nous ne nous trouvons pas ici en présence d'un dégagement d'azote de l'organisme vivant de la plante, mais que dans les semences, excessivement riches en azote des légumineuses, un cer-

tain résidu d'éléments azotés reste régulièrement non résorbé dans les cotylédons, pourrit naturellement et amène inévitablement une déperdition d'azote pendant la germination et la végétation. Les choses étant telles, il est clair que Boussingault avait tort d'attribuer la perte d'azote, qu'il avait constatée dans les plantes végétant dans l'obscurité en présence de nitrates, à une décomposition d'acide nitrique ayant lieu en dehors de la plante. Restait maintenant à contrôler l'assertion de Boussingault d'après laquelle il disparaissait réellement de l'acide nitrique dans ces végétations dans l'obscurité, en répétant les mêmes essais, mais en évitant l'erreur commise.

C'est ce que j'ai fait, en ajoutant avant chaque culture à la solution des principes nutritifs une dose exactement pesée de nitrate de potasse.

L'expérience a duré 21 jours et a été cessée après ce laps de temps, parce que les extrémités des tiges de quelques plantes commençaient à dépérir. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant. J'ajoute seulement la remarque qu'ici également on a joint à la récolte des plantes les résidus de semences, le *coton de verre* et le résidu solide des aliments liquides et qu'on a déterminé l'azote et l'acide nitrique de la masse totale. Un dosage séparé de l'acide nitrique dans la plante et dans le substratum était inutile et même superflu, car Boussingault l'avait déjà constaté, et moi, dans mes recherches citées sur l'acide nitrique dans les végétaux, j'étais arrivé à confirmer que la plante absorbe aussi dans l'obscurité des nitrates, si ces derniers sont offerts aux racines.

Tableau.

	POIDS des 2 haricots semés, séchés à l'air.	AZOTE de la semaille calculé d'après la substance séchée à 50°.	NITRATE de potasse donné.	AZOTE contenu dans le nitrate de potasse donné.	TOTAL de l'azote donné.	PLANTES RÉCOLTÉES avec le résidu de la solution d'aliments et le coton de verre, quantité et état.	AZOTE de la récolte calculé d'après la substance séchée à 50°.	AZOTE de l'ammoniaque volatilisée, entrée dans le récépient.	NITRATE de potasse retrouvé.	TOTAL de l'azote retrouvé.	AZOTE perdu dans le nitrate disparu.	PERTE totale en azote.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
I	1,1915	0,01917	0,2[illegible]57	0,0373	0,08377	2gr,64 ; une plante haute de 50 centim., l'autre, haute de 45 centim., ayant chacune deux paires de feuilles.	0,05688	0,00042	manque	0,05731	manque	0,02947
II	1,7919	0,05944	0,2789	0,0596	0,11001	2gr,51 ; une plante, haute de 15 centim., ayant une paire de feuilles tout à fait mortes ; l'autre, haute de 30 centim., avec une paire de feuilles bien portantes.	0,06786	0,00036	0,0178	0,06823	0,0174	0,04181
III	1,5975	0,05299	0,1713	0,0309	0,08389	2gr,88 ; une plante, haute de 29 centim., avec deux paires de feuilles : l'autre, haute de 45 centim., avec une paire de feuilles.	0,06616	0,00059	manque	0,06675	manque	0,01714
IV	1,6565	0,05185	0,1778	0,0271	0,08205	2gr,50 ; les deux plantes ayant chacune une hauteur de 52 centim et une paire de feuilles.	0,06103	0,00036	0,0131	0,06139	0,0299	0,02065
V	1,6518	0,05479	0,1725	0,0313	0,08609	2gr,61 ; une plante, haute de 45 centim. ; l'autre, haute de 30 centim., chacune avec deux paires de feuilles.	0,05947	0,00035	0,0221	0,05982	0,0273	0,02627

Ces essais, comme ceux faits sans nitrate, donnent partout une perte d'azote oscillant entre des limites étroites. On ne peut pas non plus méconnaître la grande concordance avec les résultats obtenus par Boussingault, qui consiste en ce que la perte de l'azote total est constamment presque égale à la quantité d'azote correspondant au nitrate disparu. On serait donc porté à expliquer la perte d'azote dans le même sens que Boussingault l'avait fait. Mais la circonstance que, même en l'absence de nitrates, on constate dans la plante elle-même une déperdition d'azote organique fixe, ne permet pas d'admettre cette explication sans de plus amples recherches. Rien ne s'opposerait à penser que la plante a absorbé du nitrate, l'a assimilé en partie, et que pour cette raison on n'a pu retrouver la quantité préexistante ; il se pourrait aussi que la plante, dès que de l'acide nitrique lui est offert, cherchât à réparer, par l'assimilation d'une quantité équivalente de cette substance, la perte d'azote organique fixe qu'elle subit inévitablement en germant et en végétant dans l'obscurité. Il faudrait alors que la proportion observée entre le nitrate disparu et l'azote perdu continuât aussi de subsister. Dans les essais de Boussingault, les racines se trouvaient dans un sol solide, arrosé d'une solution de nitrate ; il était donc possible que celui-ci eût décomposé l'acide nitrique ; car il est démontré que cette décomposition a lieu dans certaines conditions. Dans mes essais, où les racines plongeaient dans des solutions de principes nutritifs, cette conjecture était exclue. De toutes ces recherches nous pouvons donc seulement conclure que l'hypothèse de Boussingault, d'après laquelle les sécrétions des racines d'une plante croissant dans l'obscurité décomposent des nitrates en dégageant de l'azote libre, n'est pas encore démontrée.

CHAPITRE III

SOURCES DIRECTES CERTAINES DE LA NUTRITION AZOTÉE DES PLANTES

I. — Les nitrates.

Comme nous l'avons dit dans notre introduction historique, Boussingault a été le premier à reconnaître le rôle important des nitrates

dans la nutrition des plantes. Avant lui, Liebig avait déclaré que l'ammoniaque était l'unique source des aliments azotés des plantes ; il s'appuyait sur des raisons théoriques et expérimentales, puisque les fumures avec des sels ammoniacaux augmentent incontestablement la substance protéique de la plante. Mais Liebig n'avait pas suffisamment tenu compte du fait que l'ammoniaque ne persiste pas sous sa forme propre dans le sol, que le plus souvent elle se convertit d'une façon très rapide en acide nitrique et que ce dernier corps seulement conserve, dans les conditions ordinaires, sa consistance chimique dans le sol.

Or, Boussingault[1] ayant trouvé dans ses expériences que les produits azotés des plantes augmentent même dans le cas où l'addition d'un nitrate est l'unique source d'azote dans le sol artificiel de végétation, on avait ainsi la preuve — étant donnés les résultats négatifs relativement à l'assimilation de l'azote libre de l'air — que l'acide nitrique seul peut fournir à la plante tout l'azote dont elle a besoin. On a obtenu le même résultat dans les nombreux essais de cultures dans l'eau additionnée de solutions nutritives, de sorte que la proposition énoncée ne peut plus être contestée. Boussingault[2] avait aussi reconnu déjà que d'autres composés azotés, notamment les combinaisons organiques, telles qu'elles existent dans l'humus, etc., sont loin d'avoir la valeur nutritive de l'acide nitrique, car dans ses essais la matière protéique de la plante était de beaucoup plus considérable, si le sol artificiel exempt d'azote était additionné d'un nitrate, que s'il avait reçu une quantité équivalente de sol humique azoté. Cet expérimentateur[3] a donc posé le principe que les nitrates et les sels ammoniacaux sont les seules combinaisons qui apportent à la plante de l'azote assimilable. Cependant la question de savoir si d'autres combinaisons azotées ne sont d'aucune importance pour la nutrition des plantes devait être résolue seulement par des recherches ultérieures; celles-ci ont démontré que ces combinaisons possèdent également une certaine valeur nutritive, peu considérable à la vérité, et elles ont établi une comparaison entre la manière dont les sels

1. *Agronomie,* I, p. 154.

2. *Comptes rendus,* t. XLVIII, p. 307.

3. *Ibid.*, p. 298.

ammoniacaux et les composés azotés organiques se comportent à l'égard des nitrates. Nous reviendrons plus tard sur ces questions, après avoir d'abord étudié l'acide nitrique, comme le facteur le plus important de la nutrition azotée des plantes vertes supérieures.

Les nitrates sont les produits finaux de la décomposition des éléments azotés du sol ou des substances qui y ont été incorporées, en tant qu'ils ne se sont pas volatilisés sous forme d'ammoniaque ou qu'ils n'ont pas laissé leur azote se dégager à l'état de gaz libre. Des nitrates se trouvent donc, sans aucune exception, dans tous les sols et à tous les endroits où des végétaux supérieurs poussent ou ont poussé, et il doit s'y en constituer toujours de nouveaux à l'aide des résidus des êtres organiques qui y ont vécu.

Mais le fait que, par l'addition d'un nitrate à un sol ou à une solution de principes nutritifs nous pouvons amener une plante à produire de l'azote, ne prouve pas encore que la plante puisse réellement absorber l'azote qui lui est offert sous la forme d'un nitrate. En tirant cette conclusion, nous tomberions dans la même erreur où Liebig est tombé, quand il a déclaré que les sels ammoniacaux sont le véritable aliment azoté de la plante, parce qu'une fumure de ces derniers augmente la production d'azote du végétal ; il n'a point considéré que l'ammoniaque est nitrifiée dans le sol et que, pour cette raison, une grande portion doit déjà avoir été convertie en nitrates, avant de pouvoir être atteinte par les racines des plantes. Il s'agit donc de savoir si la plante absorbe réellement les nitrates eux-mêmes ou si ces derniers subissent auparavant une transformation. En tout cas aucune raison théorique ne s'oppose à l'admission de la première hypothèse ; plusieurs considérations même militent en sa faveur à savoir : l'extrême solubilité des nitrates dans l'eau, l'extrême facilité avec laquelle cette substance en dissolution passe à travers les membranes cellulaires des végétaux et le protoplasma, l'innocuité des solutions étendues de nitrates à l'égard des cellules végétales. Cependant tout cela n'exclurait pas une transformation des nitrates avant leur pénétration dans la plante ; car nous savons qu'en réalité les racines sont aptes à produire certaines transformations chimiques dans les éléments du sol ; il est démontré que les poils des racines sécrètent certaines substances, notamment des acides

organiques, et que ceux-ci dissolvent maints principes minéraux du sol. C'est à l'observation expérimentale à décider si oui ou non l'acide nitrique conserve sa forme propre après être entré dans le corps de la plante. Or, la présence du nitre dans les plantes vivantes a été souvent [1] constatée ; il y a notamment quelques végétaux dont la richesse extraordinaire en nitre est connue depuis longtemps ; par exemple : l'héliotrope, le tabac, les orties, la mercuriale, les espèces *Amaranthus* et *Chenopodium* et d'autres plantes rudérales ; de même aussi les navets, les betteraves. Le nitre contenu dans ces végétaux atteint quelques pour-cent de la substance sèche, de sorte que, si l'on extrait leurs sucs, il est facile d'en constater la présence. Récemment on a cherché à prouver, à l'aide de réactifs plus puissants, que des nitrates sont renfermés dans les sucs des différentes cellules. Comme il a été dit dans le chapitre sur les méthodes, Borodin [2] et Monteverde [3], en traitant des fragments de plantes par l'alcool, ont reconnu la présence de nitre à la formation de cristaux microscopiques dans les cellules, tandis que Molisch [4] a le premier employé la diphénylamine pour constater dans la plante la présence de nitrates et de nitrites, qui se manifeste par la coloration du suc cellulaire en un bleu intense. Les résultats de ces recherches ont montré que les nitrates et les nitrites sont très répandus dans le règne végétal, et que les plantes nitratées nommées plus haut représentent seulement les cas où ils sont accumulés en quantité extraordinaire. On a trouvé des nitrates dans les familles naturelles les plus diverses, jusque dans les cryptogames, à savoir dans les fougères, les mousses et dans le pédicelle du champignon comestible. On a trouvé tous les degrés de transition entre les plantes très riches en nitrates et

1. Hosäus, *Jahresbericht der Agricultur-Chemie*, 1865, p. 87. — Sutter et Alwens, *Oekon. Fortschr.*, 1re année, 1867, p. 97. — Frühling et Grouven, *Landw. Versuchsstationen*, 8e vol., p. 471, et 9e vol., p. 9 et 150. — H. Schultze et E. Schultze, *Landw. Versuchsstationen*, vol. IX, p. 444. — Wulfert, *Landw. Versuchsstationen*, vol. XII, p. 164. — Emmerling, *Landw. Versuchsstationen*, vol. XXIX, p. 136. — Sorokin, *Botanischer Jahresbericht*, 1875, p. 871.

2. *Sitzungsberichte der botanischen Sektion der St. Petersburger Naturforscher Gesellschaft*, 1881.

3. *Arbeiten der St. Petersburger Naturforscher Gesellsch.*, VIII, 2e partie, 1822.

4. *Berichte der deutschen botan. Gesellsch.*, 1883, p. 150.

celles qui en possèdent seulement de faibles traces. Parmi les parties végétales, qui en sont complètement dénuées, on cite les branches des arbres et des arbrisseaux. Enfin Berthelot et André[1] ont institué récemment des recherches en grand sur le nitre contenu dans les plantes, en dosant, d'après la méthode de Schlœsing, l'acide nitrique des sucs lessivés d'environ 200-300 plantes. Dans les 38 espèces étudiées, dans les monocotylédonées aussi bien que dans les dicotylédonées, dans les mousses, les fougères, les équisétacées, les conifères les plantes aquatiques et terrestres, les végétaux annuels et pérennes, ils ont trouvé du nitre en proportions diverses, depuis des traces à peine perceptibles jusqu'à des quantités considérables, par exemple $\frac{15}{1000}$ du poids sec dans la pomme de terre, $\frac{26}{1000}$ dans le froment et même $\frac{150}{1000}$ dans les amaranthes. Quant à la répartition des nitrates dans les végétaux, on a toujours constaté qu'elle était inégale dans les différents organes. H. Schultze et E. Schultze (*l. c.*) n'en ont point vu dans les grains de blé mûrs, tandis qu'il en existe dans les tiges; Emmerling (*l. c.*) n'en a pas constaté dans les fleurs, les fruits et les semences de la *Vicia faba,* tandis que la tige et les racines contenaient de l'acide nitrique; la quantité en diminuait à mesure qu'on s'éloignait des racines, et les feuilles en possédaient à peine des traces. Frühling et Grouven (*l. c.*) ont trouvé dans diverses plantes la teneur en nitrate différente selon le degré de développement; très grande pendant la floraison, elle subissait le plus souvent une diminution très considérable à l'époque de la maturité. Sorokin (*l. c.*) s'est livré à une étude minutieuse de cette question en ce qui concerne le sarrasin. Il a également constaté que la quantité d'acide nitrique augmentait jusqu'à l'époque de la fructification, pour diminuer ensuite fortement; car la proportion centésimale de l'acide nitrique dans la substance sèche a été pendant la 1[re] période (12 jours après la germination) 1,869; dans la 2[e] période (33 jours après la germination, pleine floraison) 2,273; dans la 3[e] période (55 jours après la germination, formation du fruit) 2,422; et dans la 4[e] période (85 jours après la germination, maturité des fruits) 0,325. La répartition de l'acide nitrique d'après les organes était la même dans

---

1. *Comptes rendus,* t. XCVIII, n° 25 et t. XCIX, n[os] 8-17.

toutes les périodes, à savoir la plus grande quantité se trouvait dans les tiges, particulièrement dans les entrenœuds inférieurs ; venaient ensuite les pétioles, les racines ; et la moindre quantité était contenue dans les limbes de la feuille, fait que l'on rattache à la question de l'assimilation de l'acide nitrique dans cet organe. Monteverde, au contraire, a obtenu dans ses recherches sur la répartition des nitrates dans la plante des résultats très inégaux, qui sont tout à fait inexplicables jusqu'à présent ; tandis que dans la plupart des espèces examinées il a trouvé dans les parties inférieures une accumulation de nitre, dont la quantité diminuait graduellement en montant, il a constaté précisément le contraire dans *Lamium, Galeopsis, Mirabilis, Achillea* et *Epilobium*. Dans beaucoup de plantes la plus grande proportion de nitre existait dans les feuilles, chez d'autres dans la tige ; mais jamais il n'en fut trouvé dans le parenchyme des feuilles ; d'où l'auteur tire la conclusion que là est le siège de l'assimilation de l'acide nitrique. Molisch a trouvé que, dans les tiges herbacées de *Phaseolus multiflorus, Pisum sativum, Solanum tuberosum* et *Hartwegia comosa,* la teneur en nitrate diminuait également de bas en haut. Berthelot et André ont constamment constaté dans la tige une plus grande proportion d'acide nitrique que dans la racine, dans les feuilles, au contraire, encore moins que dans les racines ; d'après eux, la quantité atteint un maximum vers le commencement de la floraison ; ensuite elle diminue pour augmenter de nouveau après la maturité des fruits, mais sans jamais atteindre de nouveau le premier maximum.

Les savants ont émis sur l'origine de l'acide nitrique trouvé dans la plante des opinions contradictoires. La plupart, à la vérité, pensent que les nitrates contenus dans la plante ont été directement absorbés dans le sol, et, qu'avant d'être transformés en substances protéiques, ils se maintiennent pendant un certain temps dans les tissus végétaux. Boussingault surtout a exprimé cette manière de voir relativement aux plantes les plus riches en azote ; il explique ainsi pourquoi le tabac sur le sol nitré près de Mazulipatan est tellement chargé de nitre que les feuilles en deviennent tout à fait blanches, et pourquoi la moelle de l'hélianthe, sur un sol nitré, est tellement chargée de ce principe que, porté sur des charbons ardents, il déflagre

vivement. En suivant cet ordre d'idées on est arrivé à la conclusion erronée d'après laquelle les plantes, dans lesquelles on ne découvre aucun acide nitrique, n'absorbent pas cette substance à titre d'aliment. Tel est le cas de Molisch, qui explique l'absence de l'acide nitrique dans les branches des arbres et des arbrisseaux par le fait que les arbres, avec leurs racines profondes, rencontrent seulement des combinaisons ammoniacales et pas de nitrates, parce que ces derniers sont réduits en ammoniaque dans les couches profondes de la terre — explication dont la conclusion est insoutenable et dont les prémices sont en grande partie inexactes. Mais l'origine de l'acide nitrique dans la plante a aussi été expliquée d'une façon tout à fait différente. Liebig dit : « C'est uniquement sous la forme d'ammoniaque que de l'azote assimilable est offert aux végétaux spontanés ; c'est l'ammoniaque qui, dans le tabac, le tournesol, le *Chenopodium*, le *Borago officinalis*, se transforme en acide nitrique, quand ces plantes poussent sur un sol tout à fait dénué de nitre ; les nitrates sont indispensables à leur existence ; elles ne se développent vigoureusement que si on leur offre de la lumière solaire et de l'ammoniaque en excédent : la lumière solaire, qui produit dans leurs feuilles et leur tige le dégagement d'azote libre, l'ammoniaque, qui, en se combinant avec l'azote, forme de l'acide nitrique. » Cette explication n'est évidemment pas le fruit de recherches dans le laboratoire ; elle a été imaginée près de la table de travail. Récemment Berthelot et André (*l. c.*) ont exprimé une manière de voir analogue, mais qui du moins était fondée sur l'observation. Ces savants ont calculé d'après les proportions de nitre trouvées dans les plantes, que par hectare le *Borago officinalis* contient 120 kilogr., l'*Amaranthus caudatus* 140 kilogr., l'*Amaranthus giganteus* même 340 kilogr. de nitre. Mais dans le sol étudié ils ont seulement pu découvrir 54 kilogr. à l'hectare, et comme les eaux météoriques apportent tout au plus $4^{kg},40$ à l'hectare, ils arrivent à la conclusion que la quantité de beaucoup la plus grande de nitre contenue dans les végétaux doit d'abord être formée dans le corps du végétal lui-même. La fausseté de cette conclusion saute aux yeux dès qu'on examine le dosage du nitre sur lequel elle est basée. En effet, pour ce dosage on a seulement prélevé du sol jusqu'à une profondeur de $0^{m},325$, parce que

les roches du sous-sol empêchaient de creuser davantage. Or, il est incontestable que les racines, même si le sous-sol est rocheux, descendent plus bas, et trouvent encore à cette profondeur de riches provisions de nitrates. Mais dût-il ne pas en être ainsi, la conclusion n'en serait pas plus logique, du moment que l'on admet — ce qui est d'ailleurs généralement reconnu comme vrai — que la formation d'acide nitrique a lieu dans le sol d'une façon continue. Berthelot et André croient que la tige est l'endroit où le nitre se forme dans la plante, parce qu'ils ont toujours trouvé qu'elle était l'organe le plus riche en ce principe ; dans la tige, disent-ils, ont lieu des oxydations qui convertissent l'ammoniaque ou peut-être aussi l'azote libre en acide nitrique, tandis que la feuille, grâce à l'action du tissu chlorophyllien, décompose le nitre. Les deux auteurs cherchent à rattacher leur opinion sur la formation de l'acide nitrique à une théorie plus générale. S'appuyant sur l'idée émise d'abord par Schlœsing et Müntz et développée ensuite par d'autres savants, à savoir, que la formation de l'acide nitrique dans le sol est un effet de la fermentation produite par des cellules vivantes, par des microorganismes cryptogamiques, qui transfèrent l'oxygène à l'ammoniaque ou même à l'azote libre et engendrent ainsi de l'acide nitrique, ils étendent cette aptitude à agir comme ferments au tissu cellulaire des plantes supérieures. On voit quelle immense portée aurait cette idée — si elle était reconnue exacte — sur l'utilisation d'autres sources d'azote par les végétaux.

En présence de la confusion des opinions relatives à l'acide nitrique dans la plante, et vu l'importance de ce point pour toute la question de l'azote, j'ai entrepris à ce sujet des recherches minutieuses, dont je donne ici les résultats.

Pour démontrer la présence des nitrates dans la plante, j'ai eu recours à la réaction au moyen de la diphénylamine, dont il a été déjà parlé plus haut. Je rappellerai seulement que le seul doute qui puisse naître à propos de cette réaction, c'est de savoir si l'on a affaire à des nitrates ou à des nitrites ; car les autres combinaisons oxygénées, telles que le bioxyde d'hydrogène, le peroxyde de manganèse, l'acide chromique, qui donnent la même réaction avec la diphénylamine, sont tout à fait insignifiantes dans la plante. Mais

le doute, si l'on a affaire à des nitrates ou à des nitrites, ne tire pas à conséquence, puisque ces deux combinaisons sont très voisines l'une de l'autre, et que la présence de nitrites dans les végétaux a été seulement constatée dans des cas très rares d'une façon certaine. L'hypothèse, d'après laquelle la coloration en bleu, produite par la solution de diphénylamine sur des fragments de plantes, ne peut être attribuée qu'aux nitrates, a été particulièrement justifiée par les résultats de ces recherches, puisque la réaction, comme nous pouvons le dire d'avance, a seulement eu lieu quand la plante avait absorbé des nitrates, ce qui n'arriverait pas si l'on était en présence d'un autre corps produisant la même réaction. Dans ces recherches, comme dans toutes celles où il s'agit d'étudier le suc cellulaire, il n'est pas bon, comme on le fait ordinairement, de faire des sections transversales, car, dans ce cas, la plupart des cellules parenchymateuses sont coupées en deux, et alors le suc cellulaire sort de la cellule et se perd. Or, ici il est nécessaire d'obtenir le suc cellulaire dans son intégrité et sans mélange, car c'est lui qui doit contenir les nitrates en dissolution, s'il en existe. Le but peut donc être atteint seulement en pratiquant des sections longitudinales pas trop minces dans la racine, la tige, le pétiole, etc., car les cellules parenchymateuses, qui contiennent particulièrement le suc végétal, et qui constituent l'écorce et la moelle des parties de la plante, s'étendent surtout par rangées dans le sens longitudinal, et ont en général une forme cylindrique. Dès lors, on comprend pourquoi, sur une section longitudinale même très mince, on obtient dans leur intégrité des rangées entières de cellules parenchymateuses, tandis que sur une large section transversale, il est à peine possible d'obtenir une cellule intacte. Des parties très minces des plantes, telles que les filaments des racines, peuvent être placées dans le réactif, sans être coupées. Comme une petite quantité d'eau est nécessaire pour produire la réaction, il est avantageux d'imprimer immédiatement le réactif sur quelques points des sections fraîches, car leur humidité naturelle satisfait très bien à cette condition. En général il est bon d'étudier les fragments végétaux, à l'état frais et vivant, surtout quand il s'agit d'apprendre à connaître la répartition des nitrates selon les tissus, car, lorsque ces fragments

meurent et se dessèchent, il y a à craindre des mélanges des différentes solutions par la diffusion.

J'aborde d'abord la question de savoir à quelle époque de la vie l'acide nitrique apparaît en général dans la plante, et si réellement il n'apparaît que dans le cas où on le met à la portée des racines. De même que plusieurs de mes devanciers, j'ai trouvé que toutes les semences mûres et non germées que j'ai examinées étaient dépourvues de toute trace de nitrate ; je parle, par exemple, de *Phaseolus multiflorus* et *vulgaris, Lupinus luteus, Triticum vulgare, Zea maïs, Polygonum fagopyrum, Helianthus annuus, Nicotiana tabacum, Ricinus communis,* c'est-à-dire des plantes les plus riches en nitre. Si on fait germer ces plantes au-dessus de l'eau distillée ou d'une si faible quantité d'eau de source qu'il est impossible d'y remarquer aucune trace de nitrate, les plantules, tout en se développant, ne montrent de réaction nitrique dans aucune de leurs parties, aussi longtemps qu'on n'ajoute pas de nitrates. J'ai entrepris des essais avec *Phaseolus multiflorus* et *vulgaris,* plantes qui, dans les circonstances ordinaires, sont comptées au nombre de celles contenant du nitre en quantité modérée, sont facilement cultivées dans l'eau, et dans lesquelles la réaction nitrique a lieu d'une façon très prononcée dans la racine, dans la tige, dans les fortes nervures des feuilles. Ces plantes ont été cultivées à partir de leur germination dans une solution normale complètement exempte d'azote, c'est-à-dire dans une solution chimiquement pure des sels nutritifs nécessaires, à l'exclusion de tout composé azoté. En même temps, d'autres végétaux de cette espèce ont été élevés dans des solutions préparées de la même manière, mais additionnées d'un nitrate. Comme les haricots renferment dans leur grande semence une assez forte provision de réserve alimentaire organique azotée, ils atteignent, même dans des solutions nutritives exemptes d'azote, un degré de développement assez avancé et vont souvent jusqu'à produire quelques fleurs. Pendant cette croissance on ne put découvrir à aucun moment aucune trace de nitrate ni dans les racines, ni dans les tiges, ni dans les pétioles des plantes ayant poussé dans les solutions exemptes d'azote, quoiqu'elles vécussent et fussent constituées d'une façon aussi normale que dans les conditions ordinaires ; même lorsqu'au

bout de quelques mois la végétation commença à s'arrêter faute d'aliments, on put toujours constater l'absence totale de nitrates. Au contraire, la réaction produite par la diphénylamine sur les racines, les tiges et les pétioles des plantes cultivées dans de l'eau nitratée, fut aussi forte que celle produite sur les haricots ayant crû dans un sol ordinaire. Quelques-unes des plantes d'essai de *Phaseolus vulgaris,* nourries avec de l'acide nitrique, ne reçurent aucune nouvelle dose de nitrate, tandis qu'à d'autres j'en donnai postérieurement une nouvelle quantité. Quand, après un certain intervalle, pendant lequel elles avaient atteint une hauteur d'environ 45 centimètres et avaient formé environ 7 feuilles complètes, on traita de nouveau les premières par de la diphénylamine, on ne découvrit dans aucun de leurs organes aucune coloration en bleu, et cependant on avait au commencement trouvé de l'acide nitrique dans leurs tissus; mais on constata aussi que la solution nutritive, dans laquelle elles étaient élevées, était absolument exempte de nitrate, car, séchée au bain-marie et traitée avec de la diphénylamine, elle ne produisit plus aucune réaction ; ces plantes avaient donc absorbé et élaboré jusqu'à la dernière trace du nitrate qui leur avait été offert. Dans les autres cultures, au contraire, où la solution nutritive contenait encore des nitrates, la diphénylamine réagit encore fortement sur les racines et les tiges des végétaux.

Pour étudier au point de vue en question une véritable plante à nitre, j'ai aussi entrepris des essais analogues avec *Helianthus annuus*. Comme il a déjà été dit, la semence et la jeune plantule du tournesol sont également exemptes de nitrate, mais, si on lui en offre du dehors, il s'en emplit même dans les premiers stades de son développement avec une rapidité étonnante. Si l'on examine des plantules de tournesol ayant germé dans du terreau ordinaire, immédiatement après la germination, au moment où la tigelle a environ 4 centimètres de hauteur, où les cotylédons viennent de se développer, et où la première paire de feuilles proprement dites apparaît entre les cotylédons, les radicelles, la racine principale, le bourgeon caulinaire et toute la partie jusqu'au point d'insertion des cotylédons, traités par de la diphénylamine, produisent déjà une coloration presque noirâtre, qui est l'indice d'une grande teneur en nitrate.

Au contraire, dans des plantules, que j'ai fait germer dans environ 100 centimètres cubes d'eau de source, la situation constatée dans le même stade de développement était essentiellement différente. Celles qui avaient seulement à leur disposition 100 centimètres cubes d'eau de source, ne montrèrent pour ainsi dire aucune réaction dans aucune de leurs parties, tandis que celles dont les racines plongeaient dans environ quatre fois le volume de la même eau de conduite d'eau, traitées avec de la diphénylamine, décelèrent dans leur racine principale ainsi que dans la partie inférieure de la tige une coloration bleue très visible, mais, médiocrement intense. Je laissai les plantes continuer de croître dans les quantités d'eau données, sans y rien ajouter. Celles qui se trouvaient dans la petite dose d'eau parvinrent seulement à développer le premier entrenœud caulinaire avec la première paire de feuilles, qui restèrent très petites et ne décelèrent dans aucune de leurs parties aucune trace de réaction nitrique. Les plantes, se trouvant dans le plus grand volume d'eau, continuèrent de croître pendant deux semaines de plus ; leurs racines étaient abondantes, leur tige arriva jusqu'au développement de la quatrième paire de feuilles, et, quoique celles-ci fussent petites, les plantes étaient saines et vertes ; mais la réaction nitrique, observée auparavant, avait disparu ; ou tout au plus se montra-t-il dans la partie inférieure de la tige quelques traces de coloration en bleu. Le résultat de cette expérience prouve encore une fois que la plante est apte à absorber, au moyen de ses racines, les plus faibles quantités de nitrate qui lui soient offertes, afin de les utiliser plus tard, mais qu'elle est incapable de produire par elle-même du nitrate. L'aptitude extraordinaire du tournesol à rechercher dans le milieu ambiant les plus faibles traces d'acide nitrique et de les accumuler dans ses tissus, ressort également de l'essai suivant, où j'ai cultivé de l'*Helianthus* dans de l'eau, c'est-à-dire, en attribuant à chaque plante un litre d'un liquide qui représentait une solution nutritive normale, mais exempte d'azote. Au lieu d'eau distillée, j'ai employé de l'eau de pluie qui était tombée à Berlin en avril et mai, et qui avait été recueillie dans de grandes cuvettes en verre placées en plein air. En dosant le nitre de cette eau de pluie au moyen de la diphénylamine, d'après la table de sensibilité de Wagner, j'ai trouvé 1 par-

tie de nitre pour 1,200,000 parties d'eau, de façon que le liquide, étant donné son degré de concentration, contenait à peine un milligramme par litre. J'ai examiné une de ces plantes immédiatement après la germination, à la même période de développement où les plantes dont nous avons parlé plus haut avaient été examinées, et en les soumettant à l'action de la diphénylamine j'ai constaté dans la racine principale, dans les radicelles et dans la partie inférieure de la tige une réaction bleu foncé. Les autres plantes continuèrent de pousser encore pendant quelques semaines, avant de périr faute d'aliments azotés ; la plus avancée avait sa troisième paire de feuilles, à la vérité avec des entrenœuds très rapprochés et des limbes fort petits, et elle ne possédait de trace de nitrate dans aucun de ses organes.

Les essais cités ici prouvent que *les plantes, même les véritables plantes à nitre, contiennent seulement des nitrates, lorsque ceux-ci sont mis à la portée des racines, et que les quantités quelquefois considérables de nitrates existant dans la plante dérivent uniquement de cette source, et non point de l'azote libre de l'air ni des faibles traces d'ammoniaque qu'il renferme, car ces deux dernières sources auraient été également ouvertes à mes plantes d'essai, si celles-ci avaient été aptes à y puiser de l'acide nitrique*. La seule objection que l'on pourrait peut-être faire, c'est que le faible développement atteint par la plante cultivée dans de l'eau exempte d'azote, lui enlève l'aptitude de former elle-même du nitre à l'aide d'autre matériel, mais cette objection ne tient guère debout, car nous savons que faute d'une alimentation convenable, la plante ne remplit que mollement les fonctions auxquelles elle est apte, mais qu'elle ne perd jamais complètement la capacité de les remplir. Les essais, mentionnés plus haut, ont montré, au contraire, avec quelle étonnante énergie les végétaux, réduits à l'état de famine, s'emparent de ce qui leur manque[1].

Les observations et les essais suivants nous donnent des renseigne-

1. Les résultats essentiels de mon essai, qui contredisent les opinions de Berthelot et André, citées plus haut, sont confirmés par un travail de Molisch : *Ueber einige Beziehungen zwischen unorganischen Stickstoffsalzen und der Pflanze. Sitzungsberichte der Kaiserl. Akad. der Wissensch. zu Wien,* 5 mai 1887. Celui-ci a également constaté que, dans des solutions exemptes de nitrates et de nitrites, les plantes restent toujours sans nitre ; il est aussi d'avis que le nitre, contenu dans les plantes, dérive de l'extérieur.

ments sur la circulation et le sort de l'acide nitrique dans la plante. Si, après les avoir soigneusement lavées avec de l'eau pure, on arrose avec de l'acide sulfurique mélangé de diphénylamine les radicelles ténues de haricots, pois, tournesols, etc., qui ont crû dans de l'eau nitratée (cette opération se fait le mieux dans une petite coupe de porcelaine blanche ou de verre reposant sur un support blanc), tout le corps de la racine, recouvert par le liquide, prend une couleur uniforme d'un bleu noir foncé, à la seule exception de l'extrémité de la racine, laquelle prend régulièrement une coloration rouge-jaune, produite habituellement par l'acide sulfurique seul sur des parties végétales, surtout si elles sont riches en protoplasma. La portion qui ne bleuit pas, c'est la partie végétative de la racine, qui consiste en cellules riches en protoplasma encore en train de s'étendre et de se diviser, et dont l'épiderme n'est pas encore pourvu de poils. Il faut en conclure que les extrémités des racines ne sont pas appropriées à l'absorption de nitrates, mais que la racine possède seulement cette aptitude là où ses tissus, particulièrement les cellules de l'épiderme, sont complètement développés et revêtus de poils. Cette conclusion concorde avec le fait depuis longtemps connu en physiologie que la fonction de l'extrémité de la racine consiste à allonger la racine et non à absorber des aliments. Si on place dans le réactif les radicelles des plantes ayant crû dans de l'eau, après les avoir coupées dans le sens de la longueur, on peut souvent observer ce qui suit. La réaction n'a pas lieu au moment du contact avec le réactif, puisqu'à l'extérieur des racines lavées il n'y a pas trace de nitrate. Mais bientôt les cellules épidermiques commencent à se gonfler sous l'influence de l'acide sulfurique, et aussitôt que leur sève se mélange avec le réactif, il se produit une coloration en bleu qui, étant encore limitée à l'épiderme, apparaît sur les côtés de la racine comme une ligne mince ; quelquefois aussi des cellules épidermiques éclatent et leur sève, en sortant, forme d'innombrables bandes minces bleues visibles à l'œil. Peu à peu les parties intérieures de la racine se colorent et finissent par être tout à fait d'un bleu noirâtre. Cette étude faite sur des racines ayant poussé dans le sol réussit moins bien, parce qu'il est difficile d'éloigner les particules terreuses qui s'attachent à l'épiderme sans en endommager les cellules.

L'expérience que nous venons de décrire nous enseigne que les nitrates absorbés par la racine doivent se trouver à l'état de dissolution dans le suc des cellules de l'épiderme et de l'écorce.

Des racines les nitrates peuvent arriver par diosmose de cellule en cellule jusqu'aux parties aériennes des plantes. En effet, dans *Helianthus annuus, Phaseolus multiflorus* et *vulgaris, Pisum sativum, Trifolium hybridum, Cucumis sativus, Brassica oleracea, Polygonum fagopyrum, Zea maïs, Triticum vulgare,* on trouve que, si on soumet à notre réactif les sections longitudinales des différentes parties vivantes de la plante, une réaction nitrique également forte se continue sans interruption à partir des radicelles les plus ténues, à travers les racines plus grosses, le collet, la tige, les branches, jusqu'à chaque feuille et jusqu'au pétiole tout entier. Toutes ces parties, au moins chez les plantes que nous venons de nommer, donnent une coloration bleue très foncée. Seulement les jeunes extrémités de la tige ainsi que les jeunes feuilles encore en train de se développer ne décèlent aucune trace de nitrate. Dans la feuille de ces plantes nous remarquons également une limitation très caractéristique de l'expansion du nitrate. Là où nous avons une grande feuille simple, comme dans le tournesol, la réaction nitrique se continue aussi dans les fortes nervures à travers tout le corps de la feuille, les nervures plus minces même décèlent encore une certaine teneur en nitrate; mais la mésophylle verte proprement dite n'en contient aucune trace. Si donc l'on place dans de l'acide sulfurique diphénylaminé des fragments de la masse foliacée verte d'un héliotrope ou d'un autre végétal parmi les espèces nommées, le liquide ne se colorera pas en un bleu vert; tout au plus y remarquera-t-on un reflet bleuâtre dans le cas où une forte nervure de feuille aura été entamée. Le vert bleuâtre dont l'acide sulfurique colore les grains chlorophylliens est facile à distinguer ici de l'indigo bleu de la réaction chimique. J'ai aussi pu m'assurer que l'épiderme des feuilles du concombre, du chou, du sarrasin, qui se détache très facilement, ainsi que les stomates, ne produisent aucune réaction nitrique, pourvu que cet épiderme soit détaché nettement et qu'il ne s'y trouve mêlé aucune partie du tissu des nervures sousjacentes. Ainsi se comportent également les plantes à feuilles composées, haricots, pois, trèfle; le pé-

tiole principal, dans toute sa longueur, est très riche en nitrate ; on en trouve aussi dans les pétiolules et les articulations des folioles ; mais on n'en voit pas dans les folioles elles-mêmes. Dans les folioles des pois, la nervure principale n'en présente aucune trace, tandis que dans le haricot les nervures un peu fortes montrent encore une réaction nette, les nervures minces et la mésophylle verte restent insensibles.

Dans les fruits aussi, nous observons partout que le nitrate disparaît à une distance plus ou moins grande des ovules, selon les espèces végétales. Dans les haricots (*Phaseolus multiflorus* et *vulgaris*) il pénètre jusqu'à l'épicarpe. Aussi longtemps que les gousses restent vertes et pleines de sève jusqu'à la maturité complète de la semence, la diphénylamine les colore en un bleu intense ; mais déjà dans le funicule, dont le point d'insertion est dans la paroi intérieure de la gousse et qui amène la nourriture à la jeune semence, on peut constater l'absence totale de nitrate aussi bien que dans les semences à tous les stades de leur développement. Dans l'héliotrope, dont la tige contient une si forte dose de nitrate, celui-ci disparaît rapidement à la naissance du réceptacle du capitule. Ce réceptacle est le résultat d'une large expansion de l'extrémité de la tige dont la moelle s'étend tellement qu'elle en devient creuse. Jusqu'à cet endroit, celle-ci est un tissu plein de sève et montre une réaction nitrique très intense. Dans la cavité du réceptacle la moelle est lâche et forme une masse blanche cotonneuse ; ce sont des cellules pleines d'air, ayant perdu leur sève, dont la réaction nitrique est très faible ou nulle. Ni dans l'écorce pleine de sève, qui forme la partie extérieure du capitule et dans laquelle s'étendent les faisceaux fibro-vasculaires, ni dans le tissu plein de sève, qui constitue le fond du capitule, où s'insèrent les fleurs, ni dans les fruits naissants, on ne peut trouver aucun nitrate. Le maïs, dont tout le parenchyme de la tige est si riche en acide nitrique, a bien encore un peu de nitrate dans le court pédoncule qui porte le spadice, mais à partir de l'endroit où ce pédoncule devient l'épi, ni lui ni les grains n'en montrent aucune trace. La tige du froment, aussi loin qu'elle a des feuilles, est riche en nitrate, mais l'entrenœud supérieur, qui supporte l'épi, ainsi que tout le rachis de l'épi, en est à peu près dépourvu et les

jeunes grains en sont complètement exempts. Le pois présente ici une grande différence avec le haricot, son congénère. Non seulement on peut constater l'absence totale de nitrate dans les jeunes cosses, mais toute la tige, qui au début est si riche en acide nitrique, le perd déjà à l'époque où les premiers fruits naissent. Ceci nous conduit à la question de savoir combien de temps en général le nitrate persiste dans ces plantes si riches en acide nitrique.

Ici encore le haricot est en tête. A l'époque où cette plante a déjà perdu ses feuilles, où sa tige à peine verte porte des fruits mûrs, celle-ci donne encore une forte réaction nitrique ; il arrive même qu'après la récolte des fruits les tiges complètement desséchées possèdent encore une assez forte dose de nitrate, qui n'a pas été complètement élaboré par la plante et qui reste dans la paille. L'héliotrope emploie à temps les quantités extraordinaires de nitrates accumulés dans sa tige. Tandis qu'au commencement de son développement, la tige s'emplit de nitrate dans tous ses tissus, nous voyons à partir de la floraison, pendant la maturation des fruits, le nitrate disparaître de l'écorce jusqu'au pied ; mais il continue de se maintenir dans le corps ligneux, et la moelle, encore pleine de sève, présente un riche réservoir d'acide nitrique. Quand arrive la fin de la maturation des fruits, la moelle perd aussi son acide nitrique ; nous voyons alors ce tissu blanchir, signe que la sève, sortant des cellules, est remplacée par de l'air, et à mesure que ce phénomène se produit, la coloration en bleu par la diphénylamine cesse également, de sorte qu'évidemment ici le nitrate dissous dans la sève quitte avec elle la moelle.

Si l'on examine tout ce que nous venons de dire sur la manière dont l'acide nitrique se comporte dans les végétaux, on est obligé d'en conclure que *dans les plantes en question il est absorbé, pendant l'époque de la végétation, beaucoup plus d'acide nitrique qu'elles n'en emploient pendant ce temps pour la structure d'organes nouveaux, et que l'excédent est amassé et accumulé sous forme de nitrate dans tous les organes dont la plante peut disposer à cet effet pendant cette période ; et comme les larges cellules remplies de sève, dans laquelle les nitrates peuvent se dissoudre, sont le mieux appropriées à ce but, les cellules parenchymateuses des racines, le*

parenchyme de l'écorce et de la moelle, les pétioles et les nervures des feuilles sont les réservoirs transitoires des nitrates jusqu'au moment de la maturation des fruits, où le fort besoin de matière azotée pour la formation de ces derniers est satisfait par cette provision accumulée.

Mais il y a aussi des plantes qui disposent autrement de l'acide nitrique. En parlant plus haut des écrits relatifs à cette question, nous avons déjà trouvé chez différents auteurs des indications d'après lesquelles il y a des plantes où l'on ne rencontre aucune trace d'acide nitrique. On a nommé à ce propos les plantes ligneuses, dont les tiges et les branches ont été trouvées entièrement exemptes de nitrate, et Molisch a conclu de cette circonstance que ces plantes reçoivent comme aliment de l'ammoniaque au lieu d'acide nitrique. Nous sommes ici en présence d'observations défectueuses et de conclusions inexactes. Si l'on examine les faits attentivement, on voit qu'ils sont tout autres ; on trouve qu'en principe il n'existe pas sous ce rapport de différence entre les végétaux ligneux et herbacés. Sans doute, il est exact que la plupart des végétaux ligneux ne contiennent pas de nitrates dans les parties aériennes. On peut citer, par exemple, le frêne où, de fait, il est impossible d'obtenir avec de la diphénylamine une réaction dans un tissu des branches ou dans une partie de la feuille. Mais tous les végétaux ligneux ne sont nullement dans le même cas. Les observateurs savent depuis longtemps que le *Sambucus nigra* forme une exception. Dans cet arbre, l'écorce des branches donne une très forte réaction nitrique, mais celle-ci ne se produit ni dans le bois ni dans la moelle exempte de sève. Dans le parenchyme du pétiole de la feuille principale, ainsi que dans les nervures principales des différentes folioles, on trouve de l'acide nitrique en abondance.

Je cite encore les exemples suivants. Les branches du cep de vigne, du moins à la fin de l'été, ne montrent pas trace d'acide nitrique ; le parenchyme du pétiole, au contraire, en est rempli dans toute sa longueur. La réaction commence dans le coussinet et ne se produit pas dans les parties adjacentes de l'écorce. Elle a lieu dans les nervures principales de la feuille de vigne et, comme toujours, elle fait défaut dans le tissu vert de la feuille. Dans la vrille aussi il

y a à peine trace de réaction nitrique. Enfin, pour citer un cas où la présence de l'acide nitrique est encore limitée davantage, je nommerai le *Robinia Pseudacacia,* qui, comme la plupart des végétaux ligneux, est entièrement exempt de nitre dans les branches, dans tout le rachis ainsi que dans les folioles, mais qui en possède une quantité surprenante dans l'articulation du pétiole, et une faible dose dans l'articulation des différentes folioles.

Mais les végétaux ligneux ne sont nullement les seuls à manquer de nitrates dans leurs parties aériennes ; quelques plantes herbacées se trouvent dans le même cas. Hosäus[1] déjà a prétendu que l'*Iris germanica,* les *Allium porrum sativum* et *cepa* ne contiennent aucun acide nitrique dans les bulbes et les feuilles ; plus tard cependant il s'est repris en disant qu'en été il a pourtant trouvé de l'acide nitrique dans ces plantes, tandis que ses premiers dosages ont été faits en automne. Molisch (*l. c.*) se contente de cette courte remarque que dans le *Rochea falcata,* dans la bulbe d'*Allium cepa* et dans beaucoup de tubercules de pommes de terre, il n'a obtenu aucune réaction. Il s'entend de soi que de tels essais isolés, faits à n'importe quelle époque et sur n'importe quelles parties de la plante, n'ont aucune valeur pour la solution de notre question. Mais je peux citer une plante herbacée typique en ce qui concerne le manque de nitre, à savoir notre lupin jaune ; et, comme cette plante est d'une importance capitale pour la question de l'azote, je l'ai étudiée sous ce rapport avec grande attention. Si l'on essaie de réagir avec de la dyphénylamine sur un lupin adulte, on ne trouvera pas la moindre trace de réaction ni dans le pivot, ni dans la tige, ni dans les pétioles, ni dans les articulations des folioles, ni dans les folioles, ni dans l'inflorescence, ni dans les gousses en train de mûrir, ni dans les jeunes semences. Cette observation s'applique non seulement aux lupins élevés artificiellement, mais encore à ceux qui ont poussé vigoureusement en plein champ. On aurait tort de croire que nous nous trouvons ici en présence d'un cas analogue à celui du pois qui, pendant sa jeunesse, accumule de l'acide nitrique dans ses tissus, mais qui use

1. J'ai communiqué récemment les faits les plus importants cités dans les *Comptes rendus de la Société botanique allemande,* 29 décembre 1887.

rapidement toute la provision accumulée : les observations suivantes démentent cette opinion. J'ai dosé le nitrate des parties aériennes du lupin pendant le développement de cette plante à partir de la germination. La semence non germée est complètement exempte de nitre. La jeune plantule, dont les premières feuilles viennent de naître au-dessus des verts cotylédons, ne montrent de trace d'acide nitrique ni dans la tige, ni dans les pétioles, ni dans les folioles, ni dans les cotylédons. Si l'on examine la plante dans les stades de développements suivants, jusqu'au moment où elle meurt à la maturité des semences, le résultat est toujours le même.

Si jusqu'ici quelques savants ont cru que des plantes, dans lesquelles on ne trouve aucun nitrate, ne tirent pas leur azote de ce dernier mais de l'ammoniaque, ils n'ont point réfléchi qu'une plante pourrait très bien se nourrir d'acide nitrique sans qu'on en découvre une trace dans leur corps, par le simple motif qu'elles engagent cette substance dans d'autres combinaisons aussitôt après l'avoir absorbée. Ils ne se sont pas même donné la peine d'interroger la plante là-dessus, autrement celle-ci leur aurait fourni une réponse très nette. En effet, si toutefois les autres parties de la plante sont exemptes d'acide nitrique, nous pouvons découvrir cet acide dans les racines. Qu'on prenne, par exemple, les radicelles ténues du frêne dont toutes les parties aériennes sont exemptes de nitre, qu'on les lave soigneusement avec de l'eau pure pour les débarrasser de toutes les particules terreuses, qu'on les plonge ensuite dans une solution de diphénylamine, et l'on trouvera qu'elles produiront une coloration bleue nette, quoique faible ; celle-ci s'observe encore dans des racines un peu plus fortes, mais n'a plus lieu dès que leur diamètre dépasse 2 millimètres. Les racines de *Robinia Pseudacacia* décèlent même une coloration bleue très intense, quand elles ont atteint une certaine grosseur. Les racines de la vigne donnent une réaction encore plus forte. La même observation s'applique aux plantes herbacées exemptes de nitre. En automne, quand on ne découvre aucune trace de nitrate ni dans la tige verte, ni dans le bulbe de l'*Allium cepa,* les racines vivantes montrent encore une réaction nitrique extraordinairement forte. Il en est de même du lupin. Si l'on examine de très jeunes plantules, ayant poussé dans le sol et venant d'avoir leurs

feuilles primordiales, le pivot, qui maintenant a déjà une certaine largeur, donne une réaction assez considérable. Celle-ci se continue jusqu'à l'extrémité supérieure de la radicule et se montre encore çà et là dans la partie inférieure de la tigelle. Si l'on choisit des lupins un peu plus âgés, qui ont déjà formé quelques feuilles, on obtiendra seulement une faible coloration bleue dans les parties inférieures du pivot et dans les radicelles les plus ténues, et cela, jusqu'à l'époque de la floraison et de la fructification.

En général donc, nous trouvons chez ces plantes que les racines absorbent du nitrate dans le sol et que celui-ci disparaît plus ou moins rapidement dans les parties supérieures. Cette disparition ne peut être interprétée que de la façon suivante : le nitrate arrivé dans la plante engage d'autres combinaisons, probablement des combinaisons azotées organiques. Ce fait peut être conclu des essais suivants, où l'on a réussi à empêcher jusqu'à un certain point la formation de ces combinaisons et à amener dans la plante une accumulation de nitrate, probablement parce que les conditions de l'assimilation de cette substance sont plus défavorables. De jeunes plantules de lupin, dont les parties aériennes ne contenaient aucune trace d'acide nitrique et ayant crû dans un pot rempli de terre, furent placées pendant plusieurs jours de suite dans un endroit obscur. Après cet intervalle, les pétioles avaient fortement poussé en longueur, mais vivaient encore, et la chlorophylle des folioles était presque détruite. Soumis à l'action de la diphénylamine la partie inférieure de la tigelle et surtout les pétioles montrèrent une coloration d'un bleu foncé, ce qui n'arrive jamais dans les circonstances ordinaires. J'ai en outre élevé des lupins à la lumière dans de l'eau contenant la solution ordinaire d'aliments nitratés. (En général, il est vrai, ils ne poussent pas bien quand on les élève dans de l'eau, cependant on réussit quelquefois à les faire végéter jusqu'à la floraison, si les solutions sont très étendues.) Quand j'eus constaté que le nitrate donné avait été absorbé par la plante et que tous les organes en étaient exempts, j'administrai une nouvelle dose d'une solution nitratée. Après 24 heures, une des plantes fut examinée, et les radicelles, ainsi que le pivot, après avoir été soigneusement lavés, décelèrent, sous l'action de la diphénylamine, une forte coloration en bleu, qui ne

s'étendit cependant pas à la partie inférieure de la tigelle. Mais après quarante-huit autres heures, la partie de la tigelle au-dessous des cotylédons et celle immédiatement au-dessus, donnèrent une assez forte coloration bleue. La réaction, à vrai dire, n'avait pas commencé dans le parenchyme de la tige, elle partait d'une façon suffisamment nette de l'épiderme, de sorte que le nitrate semblait avoir pénétré par diosmose d'une cellule épidermique à l'autre. Pour trouver une raison de cette apparition extraordinaire de nitrate dans les lupins, il faut considérer que dans les deux essais la formation normale de la substance de la plante a été troublée ; dans le premier, c'était l'obscurité qui troubla l'activité des feuilles, dans le second, le séjour dans l'eau amena un développement plus faible, plus lent de la plante, une absorption restreinte de substance, surtout de substance azotée, d'autant plus que les cotylédons n'étaient pas encore entièrement vidés et pouvaient mettre de la matière albuminoïde à la disposition des végétaux. Quelle que soit d'ailleurs l'explication de ces phénomènes, il ressort de ces essais qu'on a réussi à produire dans les lupins la même réaction nitrique que dans beaucoup d'autres plantes.

Ces observations nous enseignent, en outre, *qu'il y a aussi des plantes qui n'accumulent point les nitrates dans leurs tissus, mais les assimilent immédiatement après les avoir absorbés ; que ces végétaux, considérés comme étant exempts de nitre, en contiennent cependant dans leurs racines, et que par conséquent, parmi toutes les plantes poussant dans le sol dans les conditions ordinaires, il n'en a pas été trouvé jusqu'ici une seule qui n'absorbât pas de nitrates par ses racines*[1].

Entre les plantes dont tout le corps est un réservoir conservant longtemps de l'acide nitrique et celles qui assimilent cet acide avec une telle rapidité après l'absorption qu'il ne peut être question d'une

1. Chez nos arbres forestiers, particulièrement chez nos *cupulifères,* qui, comme je l'ai découvert récemment, sont nourris en général par des champignons, vivant en symbiose avec les radicelles de ces arbres, je n'ai pu trouver aucune réaction nitrique dans ces mycorhizes, ce qui indique probablement que ces champignons fournissent aux arbres des substances azotées déjà assimilées. J'ai laissé de côté ce cas tout à fait particulier de nutrition, parce que nous parlons ici seulement des végétaux dont les racines puisent directement la nourriture dans le sol, comme c'est le cas ordinaire.

accumulation, il y a des transitions graduelles aussi bien sous le rapport du temps que sous celui du lieu : ainsi le pois épuise sa réserve de nitre bien avant la fin de son existence, tandis que certains végétaux, tels que le haricot, l'économisent jusqu'au moment de la fructification ; d'autre part, la vigne tient du nitrate en réserve dans les racines, dans les pétioles et les nervures des feuilles, et n'en a pas dans son cep. Le cas particulier du *Robinia Pseudacacia*, dont toutes les parties aériennes sont exemptes de nitre, à l'exception des coussinets des pétioles et des folioles, donnerait lieu de croire que le rôle de la solution nitratée consiste surtout à grossir le parenchyme du coussinet ; on sait, en effet, que les feuilles du *Robinia* subissent des mouvements de veille et de sommeil qui reposent sur des changements dans la turgescence.

Il nous intéresserait maintenant de savoir quelle est à proprement parler la destinée de l'acide nitrique dans la plante. Nous savons d'ores et déjà qu'il est obligé de fournir le matériel nécessaire à la formation des substances végétales azotées, des corps albuminoïdes, des amides, etc. ; mais où et comment s'acquitte-t-il de cette fonction ? c'est là une question à laquelle il n'a pas encore été donné de réponse certaine. D'après l'opinion traditionnelle en physiologie végétale, les aliments bruts sont assimilés dans les feuilles et sont transférés de là seulement aux endroits où ils sont utilisés ; cette opinion a trait non seulement à la transformation démontrée de l'acide carbonique et de l'eau en carbures d'hydrogène dans les grains chlorophylliens sous l'influence de la lumière, mais encore à la conversion de l'acide nitrique en substances végétales azotées, puisque l'on croit que l'acide nitrique arrive intact aux feuilles, et prend seulement là la forme de combinaisons organiques azotées, qui ensuite retournent dans le corps de la plante par les parties cribleuses des faisceaux fibro-vasculaires, particulièrement par les vaisseaux cribleux. Cette opinion s'appuyait particulièrement sur le succès des essais bien connus d'incisions circulaires, qui cependant ont perdu dans les temps récents une grande partie de leur force probante. On aurait pu avec plus de raison citer le fait — et on l'a en effet cité — que dans beaucoup de plantes on peut voir l'acide nitrique traverser sans changement les tissus jusque dans les nervures de la

feuille et disparaître seulement dans le tissu foliaire vert. Cependant on n'a pas le droit d'interpréter ce fait dans le sens de l'opinion précitée ; car si la réaction nitrique n'a pas lieu, cela n'est pas encore une preuve que le nitrate se transporte là et est rapidement converti dans des cellules ; on ferait la même observation si le nitrate n'entrait pas du tout dans le tissu vert de la feuille.

Cette dernière supposition me paraît même la plus vraisemblable ; je crois que c'est une erreur de fixer le siège de l'assimilation de l'acide nitrique dans la mésophylle des feuilles, et voici sur quelles raisons j'appuie mon opinion. La fonction des cellules mésophylliennes est d'assimiler l'acide carbonique, et on ne connaît aucun fait qui oblige ces cellules à remplir encore une autre fonction de nutrition. On peut même croire que, par suite de certaines propriétés diosmotiques des cellules mésophylliennes vivantes, le nitrate en dissolution ne peut pas y pénétrer, de même qu'il n'entre pas dans les cellules du méristème des jeunes extrémités de la tige et des racines. Peut-être cette propriété diosmotique a-t-elle du rapport avec le fait que le nitrate est inutile et même nuisible à la vraie fonction de ces cellules. Mais on n'est pas plus fondé à admettre que l'acide nitrique traverse seulement les tissus qui en sont remplis, — cette conclusion a déjà conduit autrefois à des erreurs sur la circulation de la matière — il se pourrait que l'acide nitrique y fût accumulé d'une façon permanente, hypothèse dont nous avons déjà reconnu la justesse plus haut, et qui est corroborée par la manière dont se comportent les végétaux pauvres en nitre dont il a été question. En général, dans la plupart des plantes ligneuses, dans le lupin, l'acide nitrique n'arrive jamais dans la feuille ; il faut donc qu'il soit assimilé dans d'autres cellules, probablement dans la racine, car c'est ici que nous le voyons déjà disparaître.

Pour vérifier par l'expérience l'exactitude de ces conjectures, j'ai établi les essais suivants. Je me suis dit que, si le nitrate était réellement en mouvement dans les tissus des plantes à nitre, et se dirigeait vers la mésophylle de la feuille, on aurait la preuve de cette circulation en interrompant le courant à son point de départ. J'ai donc retiré du sol, en prenant bien soin de ne pas endommager les racines, des héliotropes qui avaient grandi dans un jardin ; ils avaient

environ 30 centimètres de hauteur et avaient formé trois paires de feuilles bien développées ; depuis les radicelles ténues jusqu'aux nervures des feuilles, ils étaient pleins de salpêtre, ainsi que l'examen l'a démontré. Après avoir soigneusement nettoyé leurs racines, je les ai placés dans un liquide composé en partie d'eau de source et en partie d'une solution d'aliments normaux exempte d'azote, ne pouvant par conséquent fournir à la plante aucune nouvelle dose de nitre. Les plantes supportèrent la transplantation, vécurent encore quelques semaines et continuèrent de croître un peu plus lentement que des végétaux en pleine terre. Pendant les premières semaines, elles formèrent de nombreuses racines nouvelles, les anciennes continuant de se développer et de se ramifier davantage. On pouvait assez facilement distinguer les parties nouvellement formées des parties anciennes ; or, dans les dernières, la réaction nitrique était tout aussi forte ou guère plus faible qu'auparavant, tandis que dans les premières on ne pouvait nulle part découvrir trace d'acide nitrique ; d'autre part, les tissus de la tige continuaient d'être abondamment remplis de nitrates. A la fin de la deuxième semaine, le système radiculaire s'était encore fortement développé ; un nouvel examen prouva que toutes les parties nouvellement formées étaient exemptes de nitrate, et que maintenant l'acide nitrique avait pour ainsi dire disparu dans les portions anciennes de la racine qui avait poussé dans le sol. Dans la tige, au contraire, la réaction se faisait toujours avec l'intensité première, et celle-ci se continuait jusqu'aux entrenœuds qui s'étaient formés pendant la culture dans l'eau. Les plantes vécurent jusqu'à la fin de la quatrième semaine ; elles se déplaisaient dans l'eau et périrent prématurément. A ce moment la situation sous le rapport du nitre était toujours la même ; le système radiculaire était entièrement exempt de nitrate, mais toute la tige, à partir du pied, était aussi remplie d'acide nitrique qu'au commencement. Le résultat de cet essai parle bien plus en faveur d'une accumulation du nitrate dans le parenchyme que d'une circulation vers les feuilles dans le but de s'y transformer. Si ceci était le cas, le courant se serait porté entièrement dans les feuilles pendant les quatre semaines et y aurait tari, puisqu'il ne pouvait pas être renouvelé par les racines. L'essai est égale-

ment instructif au point de vue du mouvement de l'acide nitrique dans la racine. Si l'on était en présence d'une simple diosmose, le nitrate aurait passé du parenchyme des parties anciennes de la racine, qui en étaient remplies, dans le parenchyme des racines nouvellement formées, qui ne pouvait pas en puiser dans la solution nutritive. Mais dans les premières aussi le nitrate offrait le caractère d'une réserve alimentaire restant longtemps à la même place. Plus tard seulement nous l'y voyons disparaître à mesure qu'il se forme de nouvelles racines, et il est hors de doute que cette disparition a eu lieu pour fournir la substance azotée nécessaire au développement des racines nouvelles. Évidemment cette substance n'est pas entrée dans les dernières sous forme de nitrate, mais sous une autre forme qu'elle avait prise à l'endroit où elle se trouvait, et sous laquelle elle a été amenée aux jeunes racines, peut-être par l'intermédiaire de la partie libérienne du faisceau fibro-vasculaire.

Dans un deuxième essai que j'ai exécuté pour élucider la question dont nous nous occupons, il s'agissait d'examiner de plus près la prétendue décomposition de l'acide nitrique dans le tissu vert de la feuille. Si l'on avait raison de penser jusqu'à présent que si l'on ne trouve pas d'acide nitrique dans ce tissu, c'était parce qu'aussitôt arrivé là il y est assimilé, on réussirait nécessairement à accumuler cet acide en ce tissu d'une façon visible, si l'on supprime les conditions de l'assimilation. Jusqu'ici on a admis que les combinaisons organiques azotées sont formées, d'une part, de la combinaison organique carbonée qui se produit dans le grain chlorophyllien par l'assimilation de l'acide carbonique à la lumière, et, d'autre part, par l'acide nitrique qui est amené aux feuilles par les nervures. Or, en plaçant la plante dans l'obscurité, on peut supprimer l'une des composantes, la substance organique carbonée ; l'acide nitrique, entrant dans la feuille, ne pourrait plus alors y être transformé. J'ai donc établi des essais parallèles avec le *Phaseolus nanus* à la lumière et dans une obscurité permanente, et cela en le cultivant dans l'eau avec addition d'une solution nutritive nitratée. Auparavant, je me suis convaincu que cette plante, élevée dans une solution nutritive exempte de nitrate — que celle-ci fût tout à fait exempte d'azote ou qu'elle fût additionnée d'un sel ammoniacal — ne décèle aucune trace

de nitrate dans aucun de ses organes, en croissant soit à la lumière, soit dans l'obscurité. Les plantes de la culture pourvue d'acide nitrique, élevées en pleine lumière, furent examinées pour la première fois quand elles eurent complètement formé leurs deux premières feuilles vertes et que le bourgeon caulinaire immédiatement au-dessus commençait à se développer. Soumises à l'action de la diphénylamine, elles montrèrent dans toutes les racines, dans la partie caulinaire hypocotyle et épicotyle, dans les pétioles et dans les fortes nervures des feuilles, une réaction d'un bleu noir foncé ; même des fragments de la masse foliaire verte produisirent, à partir des nervures coupées, une coloration bleu foncé. Les plantes, élevées dans l'obscurité, donnèrent à la même époque, dans les racines et dans la tige, une réaction aussi forte que les plantes élevées à la lumière ; le pétiole se colora nettement en bleu, quoique plus faiblement, et le limbe, qui par suite de l'étiolement dans l'obscurité était resté plusieurs fois plus petit que celui des plantes élevées à la lumière et était atrophié, ne montra qu'une coloration bleue faible, partant également des nervures coupées. Je laissai ces plantes huit jours de plus dans l'obscurité et dans les mêmes conditions. Elles continuèrent de vivre et de se développer faiblement ; dans les racines, dans la tige et dans les pétioles elles montrèrent encore le même degré de réaction qu'auparavant, mais dans les nervures il n'y avait plus qu'une trace de coloration en bleu. Quand j'eus ensuite transporté ces plantes à la lumière, les feuilles se mirent à verdir ; au bout de quatre jours les limbes commencèrent aussi à s'élargir, et quand je soumis les parties verdoyantes à l'action de la diphénylamine, les nervures donnèrent une réaction presque d'un bleu noirâtre, comme dans la feuille des plantes ayant crû à la lumière. On voit nettement par là que dans l'obscurité la feuille absorbe bien moins de nitrate qu'à la lumière ; mais, en admettant l'hypothèse que l'acide nitrique est amené dans la feuille pour y être assimilé, c'est précisément le contraire qui aurait dû se produire. On objectera peut-être que, dans l'obscurité aussi, le nitrate pénètre dans le limbe de la feuille et y est rapidement transformé, de sorte qu'il est impossible de le retrouver sous sa forme propre.

Quoiqu'il soit difficile de se représenter comment cela serait pos-

sible, puisque l'assimilation du carbone manque, j'ai cependant cherché à vérifier la valeur de cette objection par l'essai suivant. J'ai de nouveau élevé le *Phaseolus vulgaris* aussitôt après sa germination dans une obscurité complète et dans une solution nutritive nitratée. Quand les plantes eurent atteint un certain développement et se furent remplies de nitrate comme à l'ordinaire, — ce dont je me suis convaincu par l'examen d'un individu, — je les ai placées dans une solution nutritive exempte d'azote, après que les racines eurent été soigneusement lavées. Pendant quatre semaines ces plantes ont continué de vivre dans une obscurité constante, où elles se sont développées avec lenteur, en présentant naturellement les plus forts symptômes de l'étiolement. Soumises ensuite à l'examen, elles ont montré dans leurs radicelles une réaction faible ou nulle, mais les racines plus fortes, la partie hypocotyle, le premier entrenœud de la tige et les pétioles, ainsi que l'entrenœud suivant, qui commençait à pousser, ont donné une réaction bleu foncé. Par conséquent il ne peut pas être question d'une transformation constante du nitrate dans la feuille; celui-ci a apparu également ici comme une réserve accumulée dans les parties végétatives, et qui n'est pas élaborée par la feuille dans l'obscurité. Si nous avons trouvé plus haut que les feuilles attirent seulement plus de nitrate en se développant à la lumière, cela doit être expliqué de la façon suivante : les cellules parenchymateuses atteignent seulement à la lumière leur état de développement normal, qui les rend aptes à accumuler des solutions; car on sait que la feuille étiolée dans l'obscurité conserve dans une certaine mesure la nature d'un bourgeon, c'est-à-dire reste à l'état de méristème. Or nous avons vu plus haut que toutes les jeunes parties des plantes, dont les tissus se trouvent à l'état de méristème, telles que les extrémités des racines et des tiges, ainsi que les feuilles naissantes, sont exemptes de nitrate.

Nous concluons de ces essais que *l'acide nitrique absorbé par la racine comme aliment azoté n'est point assimilé dans le tissu vert de la feuille, mais que cette assimilation peut avoir lieu dans tous les organes de la plante, traversés par des faisceaux fibro-vasculaires, tels que les racines, les tiges, les pétioles, les nervures, avec le nitrate existant dans les cellules parenchymateuses de ces parties, que, par*

conséquent, dans les plantes telles que le lupin et la plupart des végétaux ligneux, qui n'accumulent pas pour longtemps l'acide nitrique dans leur corps, cette assimilation a déjà lieu dans la racine, mais que, dans celles qui déposent cet acide comme réserve dans les racines, les tiges, les pétioles et les nervures, afin de l'utiliser plus tard, elle se fait dans tous les organes nommés. Quant à savoir si elle s'opère dans la cellule parenchymateuse nitratée elle-même ou dans les éléments voisins de la partie libérienne des faisceaux fibro-vasculaires, qui servent certainement de véhicule à une grande partie de la matière azotée assimilée, si de plus nous nous trouvons en présence d'une conversion directe en substances albuminoïdes ou si des amides jouent un rôle dans cette circonstance, ce sont là des questions au sujet desquelles nous ne savons encore rien de certain.

Avant de clore cette étude sur la nutrition nitratée de la plante, nous voulons encore examiner la question de savoir si les parties aériennes végétales sont également aptes à absorber des solutions de ces sels, dès qu'elles en sont humectées. Comme l'eau de pluie représente en réalité une solution de nitrates et de nitrites ammoniacaux, excessivement étendue à la vérité, cette question a une certaine importance. On sait que certaines parties de la plante ont l'aptitude de retenir ou même d'accumuler des gouttes d'eau. Je ne veux pas examiner ici, comme d'autres l'ont fait, si elles peuvent également absorber de l'eau tombant par gouttes ; je me bornerai à rechercher si, dans le cas où cette eau contient du nitrate en dissolution, celui-ci peut se diffuser dans l'intérieur des places mouillées. Les feuilles du lupin ne sont qu'imparfaitement aptes à retenir l'eau de pluie. A l'extrémité de son pétiole se tiennent en verticille sept folioles au plus, se redressant plus ou moins obliquement, de manière à former à peu près un entonnoir ouvert vers le haut, au fond duquel l'eau peut se rassembler sans découler. Après la pluie on voit souvent une goutte d'eau plus ou moins grande posée dans les feuilles à l'endroit désigné. C'est l'endroit où se trouvent les articulations des folioles, organes riches en parenchyme et appropriés à l'absorption de solutions nitratées. J'ai donc pris des lupins placés dans la chambre, j'ai fait couler sur les endroits désignés des gouttes d'une solution contenant 3 p. 100 de nitre, et j'ai laissé les feuilles s'en

humecter à peu près 24 heures. J'ai ensuite lavé ces endroits avec de l'eau distillée jusqu'à ce que la goutte adhérente ne montrât plus aucune trace de réaction nitrique, et j'ai soumis les fragments des articulations de la feuille à l'action de la diphénylamine. Celles-ci montrèrent dans tout leur parenchyme une coloration bleu intense, preuve qu'en réalité du nitrate avait été absorbé. En couvrant un des lupins d'une cloche de verre, pour empêcher l'évaporation de l'eau, j'ai pu maintenir pendant quatre jours la goutte de la solution contenant 3 p. 100 de nitre que j'avais versée dans l'entonnoir feuillu, et j'ai ensuite trouvé qu'elle contenait seulement encore des traces d'acide nitrique, tandis que les articulations coupées transversalement montraient partout, à l'exception des faisceaux fibro-vasculaires, une réaction bleu foncé. Pour voir jusqu'où le nitrate avait pénétré dans la plante à partir des articulations directement humectées, j'ai aussi soumis à l'examen des fragments du pétiole et des folioles. A 1 millimètre des articulations, le premier montrait encore une coloration bleue nette, quoique beaucoup plus faible, et à une distance de 4 millimètres seulement encore une faible trace. Les folioles donnèrent à 2 millimètres au-dessus de l'articulation dans leur nervure médiane une réaction faible, mais encore nette ; à 4 millimètres de distance elles ne montrèrent plus trace. D'après ces expériences il faut en tout cas accorder à la plante l'aptitude à absorber aussi des solutions de nitrate à certains endroits de ses parties aériennes. Mais, en réalité, en présence des quantités insignifiantes d'eau dont il s'agit ici, et en présence de la teneur extrêmement faible des eaux météoriques en nitrates, cette aptitude n'a pas grande importance pour la plante, si l'on compare les quantités de précipités atmosphériques qui pénètrent directement dans le sol et que les racines peuvent ainsi absorber.

II. — Les sels ammoniacaux.

Les sels ammoniacaux ont dans la nutrition végétale une importance réelle. Celle-ci résulte du fait que les composés azotés organiques, en se convertissant en nitrates, passent très souvent par l'état d'ammoniaque et qu'une certaine dose de cette substance existe dans tous les sols, comme aussi de la circonstance que, très

fréquemment, les sels ammoniacaux constituent un excellent engrais. Sans doute, dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire dans un sol abandonné à lui-même et non fumé avec des sels ammoniacaux, la teneur en ammoniaque est si faible, surtout en comparaison de l'acide nitrique, que ces sels y jouent en réalité un rôle tout à fait subordonné. Nous possédons des dosages assez exacts de l'ammoniaque du sol exécutés par Knop. Tandis que de précédents chimistes prétendent avoir trouvé dans 100 grammes de sol $0^{gr},005$ et même $0^{gr},02$ d'ammoniaque, Knop montre que les sols sablonneux, argileux, le sol calcaire et riche en humus des forêts, le sol des prés, le terreau des jardins ne contiennent que quelques millionièmes d'ammoniaque; en effet, dans de nombreux dosages, la quantité contenue dans 100 grammes de sol a oscillé entre $0^{gr},00012$ et $0^{gr},00094$. A une profondeur de 6 pieds, on ne trouva plus aucune trace d'ammoniaque. Ces doses si faibles s'expliquent précisément par la nitrification constante que les sels ammoniacaux subissent dans le sol. En outre l'eau entraîne ces derniers, quoique également en quantités minimes, comme le prouve la faible teneur des eaux terrestres en ammoniaque qui, d'après Boussingault et d'autres, est dans différents fleuves à peu près de 0,03 — 0,5, dans les sources de 0,03, dans l'eau de mer de 0,02 jusqu'à 0,05 millionièmes.

Nous avons déjà démontré dans le chapitre sur les nitrates que Liebig s'est trompé en attribuant à l'ammoniaque une importance exagérée, et en désignant cette substance comme le seul aliment azoté de la plante. Nous allons maintenant vérifier cette assertion au point de vue des végétaux supérieurs (nous ne nous occuperons nullement de l'influence favorable exercée par les sels ammoniacaux sur la nutrition des végétaux inférieurs, particulièrement de nombreux champignons) et nous examinerons quelle est la valeur nutritive des sels ammoniacaux comparée à celle des nitrates.

La physiologie végétale et surtout l'agriculture pratique nous offrent maints essais dans lesquels on s'est proposé d'élucider ces questions. Mais il en est peu dont la science puisse tirer profit. En effet, si on jette un coup d'œil sur les innombrables essais de fumure, exécutés avec des sels ammoniacaux, et même si l'on choisit ceux d'entre eux qui remplissent les conditions exigées d'une expérience

exacte, c'est-à-dire ceux qui nous montrent à la fois comment se comportent un sol fumé avec de l'ammoniaque, un autre fumé avec des nitrates, un troisième sans fumure, ayant tous les trois la même constitution, portant les mêmes fruits et soumis aux mêmes influences atmosphériques et climatologiques, on peut seulement reconnaître la cause et un effet éloigné, mais toute une série de phénomènes intermédiaires nous échappent. Car il est certain que la conversion de l'ammoniaque en nitrate a lieu dans le sol plus ou moins rapidement, plus ou moins complètement selon des facteurs très différents et dont l'action varie extraordinairement selon l'espèce de terrain, de sorte qu'il est impossible de savoir si et dans quelle proportion la plante a employé un sel ammoniacal qui n'a subi aucun changement ou un nitrate formé dans l'intervalle. Considérons d'autre part quelles causes secondaires influent sur le résultat final, par exemple la volatilisation et la lixiviation, la première détruisant le sel ammoniacal et la seconde les nitrates, plus ou moins rapidement selon la nature et la constitution du sol ; nous nous voyons alors en présence d'un enchaînement de phénomènes tout à fait compliqués, dont quelques-uns sont encore imparfaitement connus, et dont l'effet total est incapable de donner une réponse nette à aucune des questions que nous étudions ici. Cet effet en réalité représente tout au plus une expérience brute, dont on peut déduire sans doute certaines règles pour certains cas spéciaux, mais à laquelle manque toute vue sur l'essence de la chose, telle que l'agriculture scientifique doit l'exiger. La conséquence inévitable de tout cela a été que les essais de fumure ont conduit à des résultats tout à fait différents. Dans la plupart des cas l'effet du nitrate de soude avait été meilleur et plus rapide que celui du sulfate d'ammoniaque; l'action de ce dernier a été quelquefois bienfaisante et quelquefois complètement nulle, et cela selon les espèces de fruits, le sol, l'époque de la fumure, etc. Souvent aussi l'ammoniaque a seulement produit son effet à une époque tardive, quand il s'était peu à peu transformé en nitrate.

Pour obtenir des renseignements utilisables sur la valeur nutritive des sels ammoniacaux, il faut absolument avoir recours aux cultures dans l'eau ou employer un sol ayant subi une préparation spéciale et dans lequel la nitrification de l'ammoniaque soit impossible.

Ville[1] le premier a exécuté des essais dans ces conditions. Il s'est servi de sable calciné, additionné des principes minéraux nécessaires, auquel il a ajouté comme substance azotée uniquement du sel ammoniacal (nitrate ou phosphate d'ammoniaque) tandis qu'à côté il a employé le même sol sans y ajouter d'azote. Dans ces sols il a semé du froment, et il a trouvé que les plantes, ayant poussé dans la terre contenant un sel ammoniacal, renfermaient en moyenne 0gr,136 d'azote, tandis que celles élevées sans aliment azoté n'en renfermaient que 0gr,058, de sorte que l'excédent d'azote peut uniquement s'expliquer par l'emploi du sel ammoniacal ajouté. Dans un sol préparé artificiellement, auquel il avait également donné comme unique aliment azoté du sulfate ou du phosphate d'ammoniaque, Hellriegel[2] a aussi réussi à faire pousser du trèfle. Cependant ces essais ne sont pas tout à fait concluants, car il est tout de même possible que l'ammoniaque se soit progressivement nitrifiée dans le sol; du moins ces savants ne sont pas convaincus du contraire.

Nous avons donc plus de confiance dans les essais de culture dans l'eau avec des solutions de sel ammoniacal, tels que Birner et Lucanus[3] les ont institués les premiers. Ces savants ont cultivé de l'avoine dans des solutions normales, auxquelles ils ont ajouté comme unique combinaison azotée du sulfate ou du phosphate d'ammoniaque. Tandis que l'acide nitrique rendait d'excellents services dans les cultures de ce genre, ils ont trouvé que, s'il était remplacé par de l'ammoniaque, les plantules commençaient à dépérir peu de temps après avoir été placées dans les solutions, qu'elles devenaient chlorotiques, restaient très petites et souffreteuses, enfin développaient fort peu de racines, de sorte que leur substance sèche n'était qu'un multiple insignifiant de la semence employée. Hampe[4] a obtenu un résultat moins défavorable à l'ammoniaque en cultivant du maïs dans des solutions nutritives qui contenaient du phosphate d'ammoniaque neutre comme unique aliment azoté. La plante qu'il éleva a formé des grains, a atteint un poids sec de 18gr,178, et la quantité

1. *Comptes rendus,* t. XLIII, p. 612.
2. *Annalen der Landw.,* 1863, VII, 53 et VIII, 119.
3. *Landw. Versuchsstationen,* VIII, 1866, p. 118.
4. *Ibid.,* IX, 1867, p. 157.

de la substance organique sèche a été 134, 6 fois plus grande que celle de la semence. Comme on a donné tous les jours une nouvelle solution nutritive on ne peut pas objecter que l'ammoniaque ait été transformée en nitrate ; en outre, on a fait des dosages répétés en vue de l'acide nitrique et de l'acide azoteux, mais on n'en a jamais trouvé la moindre trace dans la solution nutritive employée. Hampe suppose que, si les autres expérimentateurs ont obtenu des résultats défavorables dans leurs essais avec le sel ammoniacal, c'est parce que l'acide en excédent dégagé par l'assimilation de l'ammoniaque trouble la plante dans sa croissance. Il pense que dans le sol ce trouble cesse parce que l'acide qui se dégage y est facilement fixé. D'ailleurs il ressort d'une notice de Beyers[1] que les cultures dans l'eau peuvent aussi, dans certaines circonstances, amener la nitrification du sel ammoniacal additionné ; des plantes d'avoine, ayant poussé dans de l'eau contenant de la chaux et de l'ammoniaque sous forme de bi-carbonate, se sont d'abord développées péniblement pendant quelque temps, puis tout à coup elles ont formé rapidement une certaine masse végétale ; et il a été reconnu que pendant cette formation l'ammoniaque contenue dans la solution s'était presque complètement convertie en acide nitrique.

J'ai moi-même institué des essais comparatifs avec une solution nutritive nitratée et avec une autre contenant de l'ammoniaque, en employant le *Phaseolus vulgaris*. Les solutions nutritives avaient la même composition, avec cette seule différence que l'une contenait un nitrate de chaux et l'autre un sulfate d'ammoniaque ; la chaux fut donnée en partie sous forme de chlorure de chaux, en partie sous forme de carbonate de chaux. Il a été constaté que pendant la durée de l'essai il ne s'est produit aucune nitrification dans la solution contenant de l'ammoniaque. Pour établir une comparaison, j'ai fait pousser des haricots de la même espèce dans une solution absolument exempte d'azote, mais étant pour le reste composée comme les autres, contenant donc tous les principes nutritifs nécessaires à l'exception de l'azote. Tandis que les plantes de la culture exempte d'azote n'allèrent guère au delà du développement des deux premières feuilles, celles des deux cultures azotées continuèrent de pousser vive-

1. *Landw. Versuchsstationen,* 1867, p. 480.

ment et de produire de la substance végétale. Mais la différence entre les plantes nourries d'acide nitrique et celles nourries avec de l'ammoniaque était très considérable. Les premières se développèrent d'une façon qu'on peut appeler naturellement normale, leur appareil foliaire était bien constitué, leurs fleurs nombreuses, leurs fruits de bonne qualité et assez nombreux, leurs semences bien formées et fertiles. Les plantes à ammoniaque arrivèrent à la vérité au même stade de développement, mais elles eurent peu de fleurs et point de fruits ni de semences.

De tous les essais que nous venons de mentionner nous devons conclure que *le sel ammoniacal peut bien jusqu'à un certain point fournir de l'azote à la plante, mais que, s'il constitue l'unique source d'azote, son effet est de beaucoup inférieur à celui de l'acide nitrique ; à certaines plantes il ne peut pas offrir une nutrition suffisante*. Ce sera la tâche des expérimentateurs futurs d'étudier les diverses espèces végétales à ce point de vue, et de fixer le degré de leur aptitude à assimiler l'ammoniaque.

Jusqu'ici nous ne possédons pas des recherches exactes sur le cycle parcouru dans la plante par le sel ammoniacal absorbé. On a réussi simplement à constater chimiquement la présence de l'ammoniaque dans les sucs de diverses plantes. Liebig [1] a trouvé de l'ammoniaque dans la sève découlant de la vigne et de l'érable, dans le suc des betteraves, etc. Hoséus [2] a dosé parallèlement l'ammoniaque et l'acide nitrique dans la sève d'une série de plantes et a constaté que les diverses espèces végétales montrent sous ce rapport de très grandes différences, comme il résulte des indications suivantes :

	AMMONIAQUE. — P. 100.	ACIDE NITRIQUE. — P. 100.
Borago officinalis	0.113	0.787
Helleborus niger	0.194	0.280
Brassica napus	0.212	0.421
Lepidium sativum	0.159	1.012
Chelidonium majus	0.159	0.337
Colchicum autumnale	0.079	0.252
Onobrychis sativa	0.212	0.088
Iris germanica	0.079	»
Allium porrum	0.172	»
Allium sativum	0.079	»
Allium cepa	0.053	»

1. *L. c.* p. 72-73.
2. *Zeitschrift für deutsche Landw.*, 1864, p. 337 et 199.

Il résulterait de ce tableau qu'il y a des plantes dont les sucs contiennent moins d'ammoniaque que d'acide nitrique et d'autres où le rapport est inverse ; il en résulterait en outre que l'ammoniaque ne manque pas même dans les plantes exemptes de nitre (qualification ne se rapportant qu'aux parties aériennes, comme nous l'avons vu), et qu'elle est peut-être répandue universellement ou du moins qu'elle est plus répandue que l'acide nitrique. Malheureusement les indications de Hoséus ne sont nullement sûres, car on a dosé l'ammoniaque en faisant bouillir le suc de la plante avec une lessive de potasse alcoolisée ; il est donc possible qu'en ce cas elle doive sa formation à des combinaisons organiques azotées de la plante. D'ailleurs l'indication de Hoséus, d'après laquelle la proportion entre l'ammoniaque et l'acide nitrique contenus dans les semences du *Nicotiana* et d'autres plantes serait $\frac{1,1}{1}$, est certainement fausse, car nous avons vu plus haut que les semences des plantes ne contiennent pas de trace d'acide nitrique.

Quand même nous reconnaîtrions, malgré la défectuosité de ces méthodes de dosage, qu'il existe de l'ammoniaque dans la plante vivante, nous ne pourrions pas admettre d'ores et déjà, comme nous avons réussi à le prouver pour l'acide nitrique, que cette ammoniaque est venue du dehors. En effet, il a été démontré d'une part par Sabanin et Laskovsky[1], en ce qui concerne les semences de la citrouille, et, d'autre part, par Hoséus[2], en ce qui concerne les grains de blé, que dans la germination des unes et des autres il se produit de l'ammoniaque qui provient évidemment de la décomposition des matières azotées, telles que l'asparagine, etc. On peut donc supposer que les quantités de sels ammoniacaux trouvés dans des plantes adultes proviennent, ne fût-ce qu'en partie, des métamorphoses multiples des substances albuminoïdes circulant dans la plante. Il est impossible de faire relativement à l'absorption et à la diffusion de l'ammoniaque dans les végétaux cultivés dans de l'eau contenant ou ne contenant pas d'ammoniaque des essais comparatifs, comme j'en ai fait pour l'acide nitrique, par la raison que nous ne

1. *Landw. Versuchsstationen,* 1875, p. 405.

2. *Jahresbericht der Agriculturchemie,* 1867, p. 100.

possédons pas, pour démontrer la présence de l'ammoniaque dans les tissus végétaux, un réactif tel qu'est la diphénylamine pour l'acide nitrique. Le réactif de Nessler, qui rend de bons services dans les analyses chimiques ordinaires, ne peut pas servir à notre but, à cause des colorations en jaune ou en brun produites par la lessive potassique seule dans les tissus végétaux, outre que ce moyen n'amène pas la réaction, si l'on se trouve en présence de substances réductrices telles qu'il s'en rencontre fréquemment dans les tissus végétaux, par exemple, sous forme de sucre de raisin, etc.

Cependant nous pouvons bien, avec les moyens qui sont à notre disposition, vérifier une hypothèse souvent exprimée, et d'après laquelle l'ammoniaque entrée dans la plante est transformée par elle en acide nitrique. Dans le chapitre sur les nitrates nous avons déjà dit avec quelle légèreté Liebig[1] a prétendu que tout l'acide nitrique contenu dans les plantes provient par transformation de l'ammoniaque absorbée. Nous rencontrons une pensée analogue chez Hoséus[2]. Celui-ci a élevé des bulbes dans une solution nutritive exempte de nitre, mais additionnée d'ammoniaque, et il a trouvé que les bulbes continuaient de contenir autant de nitre qu'auparavant, et que les racines en contenaient encore plus que les bulbes. De même il a trouvé beaucoup d'acide nitrique dans des pois qu'il a fait pousser dans de la tourbe arrosée d'une solution de sel ammoniacal. Il en a conclu que l'ammoniaque avait été transformée en acide nitrique dans la plante, conclusion évidemment illogique, puisqu'il est au contraire plus naturel d'admettre que l'ammoniaque avait déjà été nitrifiée dans le sol ou dans la solution nutritive. Dans ces derniers temps Berthelot et André ont également fait revivre cette opinion sans l'appuyer sur de nouvelles preuves, comme nous l'avons vu plus haut dans le chapitre traitant des nitrates.

Voici le moment d'étudier expérimentalement si en réalité les plantes supérieures possèdent la faculté de nitrifier elles-mêmes de l'ammoniaque. La question présente un intérêt à la fois théorique et pratique, car si l'effet nutritif de l'ammoniaque est bien inférieur à

1. *L. c.*, p. 75.

2. *Zeitschrift für deutsche Landwirtsch.*, 1866, p. 8-10.

celui de l'acide nitrique, elle atteindrait néanmoins une grande valeur comme aliment végétal, si toutes les plantes ou au moins un certain nombre étaient en état de transformer l'ammoniaque elle-même en acide nitrique, l'aliment végétal par excellence.

Dans ces essais je me suis servi de l'*Helianthus annuus* et du *Phaseolus vulgaris*, deux plantes remarquables à l'état normal par leur richesse en nitre et qui devraient par conséquent posséder le pouvoir nitrifiant au plus haut degré, si un tel pouvoir existait chez les végétaux. Pour les cultiver, j'ai employé une solution nutritive exempte de nitre, mais contenant de l'ammoniaque, dont voici la composition :

7.0 $MgSO^4$
8.0 KCl
20.0 CaCl
10.0 $H_2H^4SO^4$
13.0 KH^2PhO^4.

Au lieu du carbonate de chaux, qui présente certains avantages, j'ai à dessein choisi le chlorure de chaux parce que je m'étais aperçu que le premier nitrifiait peu à peu l'ammoniaque, s'il est pendant quelque temps en contact avec un liquide contenant cette substance. La solution a été employée avec une concentration de $0^{gr},012$ p. 100; j'ai ajouté une trace de phosphate de fer et j'ai fait usage en partie d'eau distillée, en partie d'eau de pluie recueillie en plein air. L'eau de pluie a l'avantage que les plantes y prospèrent assez bien, tandis que beaucoup de végétaux refusent absolument de se développer dans l'eau distillée, mais elle a d'autre part l'inconvénient de contenir de petites doses d'acide nitrique, qui est absorbé avec avidité par les plantes qui y sont cultivées. Les haricots, élevés dans l'eau distillée se développèrent relativement bien, comme ils le font d'ordinaire quand on les nourrit exclusivement avec de l'ammoniaque. Mais il a été impossible de trouver même une trace de nitrate ni dans les racines, ni dans les tiges, ni dans les pétioles, ni dans les limbes, et on a constaté également que le liquide nourricier était complètement dépourvu d'acide nitrique. Les essais, faits sur des haricots cultivés dans de l'eau ordinaire avec la même solution nutritive et tenus constamment dans l'obscurité, ont donné un résultat

identique. Aux héliotropes on avait donné de l'eau de pluie. mais comme, en général, elles ne poussent par bien dans l'eau, elles n'ont pas atteint un grand développement ; la plus belle plante possédait après 5 semaines six feuilles passablement grandes. Quelques analyses faites dans l'intervalle avaient démontré que les racines et même les tiges contenaient une faible dose de nitrate, provenant évidemment de l'eau de pluie, dont la réelle teneur en nitrate avait été déterminée auparavant. Plus tard, quand la plante se fut développée davantage, le nitrate disparut complètement des racines; la tige en présenta encore quelques traces, ce qui s'explique par l'aptitude de l'*Helianthus* à accumuler des nitrates dans sa tige comme réserve alimentaire ; ce qui lui était surtout possible dans cette circonstance, puisque son besoin d'azote pouvait largement être satisfait par les sels ammoniacaux mis à sa disposition. Les cultures dans l'eau entreprises en même temps avec de l'*Helianthus* dans une solution nutritive complètement exempte d'azote furent très instructives sous ce rapport : dans aucun de leurs organes ces plantes ne montrèrent la moindre réaction nitrique. Les héliotropes du même âge, qui avaient poussé dans une solution nutritive nitratée, soumis à l'action de la diphénylamine, donnèrent dans tout leur système radiculaire ainsi que dans leur tige une coloration d'un bleu noirâtre. Ces essais démontrent de la façon la plus nette que *les plantes ne sont pas aptes à former même la moindre trace d'acide nitrique à l'aide de l'ammoniaque, ni à la lumière ni dans l'obscurité.*

Relativement à l'ammoniaque, nous sommes enfin occupés de la question de savoir si elle peut être puisée dans l'atmosphère par les organes aériens de la plante, particulièrement par les feuilles, de façon à servir à la nutrition des végétaux. Si nous considérons qu'un sol, qui contient des principes organiques, cède constamment à l'air de petites doses d'ammoniaque libre et de carbonate d'ammoniaque, que les excréments animaux, les étables, etc., produisent de l'ammoniaque, et que dans les fumures avec des sels ammoniacaux il se perd une certaine portion de l'ammoniaque par volatilisation, l'aptitude de la plante à tirer un certain profit de ces produits volatils pourrait bien avoir quelque importance pour l'agriculture. Sans doute en pratique elle serait bien minime, puisque les matières volatiles,

une fois entrées dans l'atmosphère, se raréfient nécessairement à un tel point dans l'immensité de l'espace qu'il n'en arrive guère aux plantes de fraction notable. L'air atmosphérique ordinaire contient, d'après de nombreux dosages, de $0^{gr},02$ à $0^{gr},08$ millionièmes d'ammoniaque. L'air lui-même n'a donc sous ce rapport à peu près aucune influence. Il en est autrement des précipités atmosphériques en général et de la rosée en particulier. Selon les lieux et les saisons, et surtout selon la manière dont la pluie tombe, la teneur de l'eau de pluie en ammoniaque varie entre $0^{gr},06$ et $15^{gr},67$ millionièmes ; le plus grand nombre des dosages, cependant, donne environ 1 millionième. On a également observé que, selon l'intensité des averses, leur teneur en ammoniaque diminue ; ce qui s'explique facilement. Cela ressort des tableaux dressés par Boussingault, d'après lesquels la teneur moyenne en ammoniaque a diminué graduellement de 2,94 à 0,41 millionièmes, pour des averses ayant donné depuis 0 ou 0,5 jusqu'à 20,0 et 31,0 millionièmes d'eau. On a constaté des proportions analogues pour la neige et la grêle. Les dosages de Boussingault[1], relatifs à la teneur en ammoniaque de l'eau de rosée, qui s'était accumulée dans un grand pluviomètre, ont donné en différentes fois, du 18 août au 28 septembre, les nombres suivants : 3,14, 6,20, 6,20, 6,20, 1,02, 6,20, millionièmes. De même pour l'eau tombant des brouillards, la teneur en ammoniaque a varié entre 2,56 et 7,21 millionièmes ; dans un seul cas elle s'est élevée à 49,71 millionièmes. Si nous faisons abstraction de ce dernier cas qui doit être considéré comme excessivement rare et doit tenir à des circonstances locales, nous voyons que les eaux de rosée et de brouillard sont relativement riches en ammoniaque, sans que leur richesse dépasse de beaucoup celle de l'eau de pluie. Mais toutes ces teneurs sont si faibles qu'elles n'ont aucune importance pratique pour notre question, surtout si nous réfléchissons combien petite est la quantité d'eau météorique qui peut se déposer sur une plante. Si nous considérons en outre que, de ce qu'un objet est humecté pendant un certain temps par un liquide, il ne s'ensuit pas du tout que la matière

1. Cf. Boussingault, *Agronomie*, II, p. 200 et suiv. ; A. Mayer, *Agriculturchemie*, I, p. 188. Dosages faits à Rothamsted, en Angleterre, par Lawes, Gilbert et Warington, *Journ. of the Royal Society of England*, 17e vol., n° 33.

qui y est tenue en dissolution soit complètement absorbée pendant ce même espace de temps, et si nous nous rappelons que, par suite du mouvement de l'air, les gouttes de pluie et de rosée ne restent suspendues le plus souvent que peu d'instants aux plantes, nous serons obligés de reconnaître que les plantes agricoles se trouvent dans les conditions les plus défavorables possibles pour puiser de l'ammoniaque dans l'air au moyen de leurs feuilles, et nous nous étonnerons que des savants aient pu s'occuper à différentes fois de cette question absolument insignifiante au point de vue pratique.

Si parmi leurs recherches nous prenons seulement celles qui ont quelque valeur scientifique, nous rencontrons d'abord une étude de Sachs [1], qui a enfermé sous des cloches de verre des plantes de haricots avec leurs parties aériennes, de façon que l'air confiné ne pût entrer en communication avec les racines, et qui, pendant la végétation, a dirigé dans les cloches de l'air qui était en partie exempt d'ammoniaque, et en partie contenait du carbonate d'ammoniaque volatil. Les plantes exemptes d'ammoniaque ont produit 4^{gr},140 de substance sèche avec 0^{gr},106 d'azote, celles auxquelles on avait donné de l'ammoniaque ont produit 6^{gr},740 de substance sèche avec 0^{gr},208 d'azote. Mayer [2] a fourni sur cette question une recherche expérimentale faite avec beaucoup de soin. Il a commencé par étudier de nouveau l'aptitude des feuilles à absorber du carbonate d'ammoniaque volatil, en se servant d'un appareil analogue à celui de Sachs, mais disposé de façon à ce que les racines plongeant dans les solutions nutritives exemptes d'azote fussent encore mieux séparées de l'air confiné dans lequel se trouvaient les parties aériennes. Les essais entrepris avec des choux et des pois ont donné le résultat suivant : tandis que les plantes avaient primitivement un poids sec de 0^{gr},357 avec 0^{gr},013 d'azote, elles eurent plus tard dans l'air confiné dépourvu d'ammoniaque un poids sec de 0^{gr},779 avec 0^{gr},013 d'azote, et dans l'air pourvu d'ammoniaque un poids sec de 1^{gr},562 avec 0^{gr},038 d'azote. On a obtenu un résultat analogue en faisant plonger les racines des deux plantes, tenues dans de l'air confiné avec et sans ammoniaque, dans une so-

1. *Jahresbericht für Agriculturchemie*, 1860-1861, p. 78.
2. *Comptes rendus*, 1874, vol. LXXVIII, p. 1700.

lution nutritive commune, et en écartant ainsi l'objection que, par suite d'une isolation insuffisante de la solution nutritive, il pouvait s'y diffuser du gaz ammoniacal. Une autre partie de la recherche de Mayer est consacrée à la question de savoir s'il était possible d'amener à la plante de la matière azotée assimilable, en humectant les feuilles avec de l'eau contenant de l'ammoniaque. Il a trouvé que les plantes, différant, sous ce rapport, selon les espèces, montrent en général une très grande sensibilité pour ces solutions, qui se manifeste par le brunissement et le dessèchement rapides des parties humectées. Dans quelques essais qu'il a faits sur des plantes de froment qui se montrèrent relativement le moins sensibles, il humecta tous les jours vingt fois les feuilles avec une solution contenant 2 $^1/_2$ p. 100 de carbonate d'ammoniaque. Les plantes ainsi traitées développèrent, en comparaison des autres, des feuilles plus nombreuses, plus larges et plus grandes, fleurirent plus tard ; en un mot, leur végétation fut plus belle. Tandis que les semences employées avaient eu un poids sec de $0^{gr},034$ avec $0^{gr},009$ d'azote, les plantes non humectées avec de l'ammoniaque eurent un poids sec de $0^{gr},106$ avec $0^{gr},001$ d'azote, et les plantes humectées un poids sec de $0^{gr},096$ avec $0^{gr},004$ d'azote. Dans un autre essai la substance sèche des plantes humectées s'éleva jusqu'à $0^{gr},324$ avec $0^{gr},013$ d'azote. Mayer conclut que, dans ce dernier cas, l'ammoniaque n'a pas seulement été fixée chimiquement dans les feuilles, mais qu'elle doit avoir été élaborée physiologiquement, et qu'une nutrition plus riche en azote a rendu la plante apte à produire une plus grande quantité de substance sèche. Cet expérimentateur a d'ailleurs constaté que les légumineuses n'avaient pas sur les autres plantes une supériorité notable en ce qui concerne la faculté de puiser de l'ammoniaque dans l'air, malgré leur richesse en azote et malgré leur prétendue aptitude à accumuler ce principe dans leur corps. Les pois ont même montré une si grande sensibilité pour le carbonate d'ammoniaque qu'il a été impossible de les employer pour ces essais. Enfin il faut citer une étude de Schlœsing [1], qui a fait des essais tout à fait analogues dans de l'air confiné avec et sans carbonate d'ammoniaque gazeux, sur des plantes de tabac enracinées dans de la terre. Les quantités d'azote et de substance sèche ont été également plus grandes dans les plantes

pourvues d'ammoniaque que dans celles qui en étaient dépourvues.

De ce qui précède nous concluons que l'aptitude de la plante à absorber et à assimiler avec ses feuilles de l'ammoniaque gazeuse ou des sels ammoniacaux dissous dans de l'eau est à démontrer, mais qu'en présence de la quantité minime de ces substances dans l'air et dans les précipités atmosphériques, cette source naturelle d'aliments azotés n'a pour ainsi dire aucune importance pour la plante[1].

III. — Les combinaisons azotées organiques.

Il faut encore considérer comme une source possible d'aliments azotés pour les plantes ces combinaisons organiques azotées que les produits végétaux et animaux présentent dans le sol avant leur décomposition finale. Nous parlons ici des résidus de racines et de chaumes, des plantes employées comme fumier vert, de la paille et surtout des excréments animaux si riches en azote qui sont transportés dans les champs avec le fumier de ferme, ainsi que des différents autres engrais animaux, tels que le guano, le sang, les os, etc. Il s'entend de soi que les diverses combinaisons chimiques, dont il peut s'agir ici, doivent être soumises chacune à des expérimentations particulières. Dans ces essais de végétation on doit également avoir seulement recours à des cultures dans l'eau, parce que les substances en question subissent dans le sol des transformations très rapides et ne peuvent plus alors être offertes aux plantes sous leur propre forme. C'est dans ce sens qu'ont été faits les essais de végétation avec les combinaisons azotées suivantes :

1. *Urée*. Comme la plus grande partie de l'azote dégagé par les matières animales en transformation est offerte aux plantes agricoles sous la forme de ce corps composé, les expérimentateurs lui ont consacré la plus grande attention dans l'étude de la question dont nous nous occupons. Il faut ici nommer en première ligne les essais de Hampe[1] en 1865, 1866 et 1867, dans lesquels il a constamment employé le maïs qu'il élevait dans de l'eau additionnée de sels nutritifs

---

1. L'auteur semble n'avoir pas connaissance des beaux travaux de M. Schlœsing sur l'absorption de l'ammoniaque par les organes foliacés des plantes. (*Note de la Rédaction.*)

ordinaires et d'urée comme unique composé azoté. Le résultat en a été que les plants de maïs ont toujours très bien poussé et ont même formé des épis garnis d'un certain nombre de grains, de sorte que l'assimilation de l'azote ne peut pas faire doute ici. Le même savant a également institué des essais relativement à la question de savoir si l'urée a agi comme telle ou si elle s'est engagée auparavant dans d'autres combinaisons, auxquelles il aurait alors fallu attribuer l'effet produit. Il a constaté qu'excepté dans les cas où les racines avaient pourri, il ne s'était pas formé d'ammoniaque dans les solutions nutritives. Mais on pouvait nettement reconnaître la présence de l'urée dans les plantes en expérience. Cette présence était due à la formation des feuillets cristallins caractéristiques du nitrate d'urée, qui étaient déposés par les extraits des parties végétales additionnées d'acide nitrique. L'urée apparaissait dans les racines, les tiges et les feuilles, mais non dans les fruits. La conclusion à tirer de ces faits, c'est que l'urée est absorbée en nature par les racines et est seulement assimilée ensuite dans la plante; elle se comporterait donc comme l'acide nitrique. Birner et Lucanus[1], en employant uniquement de l'urée comme aliment azoté dans la culture de plants d'avoine, n'ont obtenu à la vérité que des résultats purement négatifs. Mais cet insuccès pourrait bien avoir d'autres causes, car Beyer[2], qui a fait des essais analogues, a constaté que les plants d'avoine se développaient mieux qu'avec des aliments ammoniacaux et portaient des grains mûrs : nous devons ajouter cependant que dans le résidu de la solution d'urée on a constaté la présence d'acide nitrique qui a peut-être contribué à la bonne végétation. La question de savoir si et jusqu'à quel point l'urée peut servir d'aliment aux plantes autres que le maïs, est donc encore ouverte.

2. *Acide urique.* Hampe[3] a fait encore sur du maïs des essais semblables à ceux mentionnés plus haut, mais en se servant cette fois d'urate de potasse. Les plantes se développèrent relativement bien, avec moins de vigueur cependant que celles nourries avec de l'urée ; elles ne produisirent jamais de grains mûrs. Il a observé que, pendant

1. *Landwirthschaftliche Versuchsstationen,* 1866, p. 151.
2. *Ibid.,* 1867, p. 480 ; 1869, p. 270.
3. *Ibid.,* 1866, p. 225 ; 1869, p. 180.

ces essais, l'acide urique disparaissait très vite dans la solution nutritive et était remplacé par de l'ammoniaque, ce qui permettrait de conclure que l'acide urique alimente seulement les plantes par ses produits de décomposition. Johnson [1] a cultivé du maïs dans du sable calciné, additionné de sels nutritifs et d'acide urique ; les plantes sont parvenues à un certain développement, mais, comme son essai a eu lieu dans un sol, on peut supposer que l'acide urique s'est décomposé en dehors de la plante.

3. *Acide hippurique*. Johnson [2] a démontré le premier par des essais faits avec du maïs dans du sable calciné que cet acide, donné comme unique aliment azoté à la plante, lui permettait de se développer et d'augmenter son poids sec ; mais il a négligé de rechercher si la décomposition de l'acide hippurique n'avait pas lieu dans le sol. Beyer [3], qui a cultivé de l'avoine dans de l'eau, a examiné la question de plus près. Les plantes se développèrent bien et produisirent des grains mûrs, mais l'acide hippurique disparut très vite dans les solutions nutritives, où l'on constata ensuite presque toujours la présence d'ammoniaque et d'acide benzoïque ; dans une solution qui ne fut pas renouvelée, on trouva même plus tard de l'acide nitrique. On observa en outre qu'il existait même dans les plantes récoltées de l'acide benzoïque, reconnaissable à sa forme cristalline. Hampe [4], en faisant des essais semblables avec du maïs, a également observé que les plantes se développaient, faiblement il est vrai, et qu'il se produisait de l'acide benzoïque dans la solution. Il suppose donc que l'acide hippurique s'était dédoublé en acide benzoïque et en glycocolle, quoiqu'il lui ait été impossible de découvrir une trace de ce dernier. Mais il a remarqué aussi que pendant la végétation la solution nutritive s'était couverte de champignons, et que ces champignons produisaient à eux seuls de l'acide benzoïque dans une solution d'acide hippurique. On s'est donc demandé si la plante peut dédoubler l'acide hippurique sans l'intermédiaire d'un champignon ; Wagner [5] a ré-

1. *Landwirthschaftliche Versuchsstationen*, 1866, p. 255.
2. *Ibid.*, 1866, p. 255.
3. *Ibid.*, 1867, p. 480 ; 1869, p. 270.
4. *Ibid.*, 1868, p. 180.
5. *Ibid.*, 1869, p. 292.

pondu affirmativement à cette question. Il a cultivé du maïs dans une solution d'eau et d'acide hippurique, qui est restée exempte de champignon ; les plantes se sont développées normalement et ont produit quarante-huit semences fécondes ; dans la solution il y avait également des traces d'acide benzoïque. D'après cela il semble en tout cas certain que l'acide hippurique est décomposé avant de servir d'aliment à la plante. C'est à de nouvelles recherches à décider si Wagner a raison de prétendre que ce dédoublement a seulement lieu dans la plante, après que l'acide hippurique a été absorbé intégralement, l'acide benzoïque étant éliminé et le glycocolle étant assimilé.

4. *Glycocolle*. Knop et Wolf[1], et particulièrement Hampe[2], ont démontré au moyen de cultures dans l'eau que ce corps, qui nous intéresse à titre de produit de la décomposition de l'acide hippurique, peut servir d'aliment azoté aux végétaux. Hampe l'a employé pour élever des plantes de maïs qui ont si bien réussi qu'il le regarde comme l'équivalent de l'acide nitrique. Wagner[3] a aussi cultivé dans de semblables solutions des plantes de maïs qui se sont bien développées et ont produit 96 grains mûrs sans qu'il se soit formé de champignon dans la solution.

5. *Créatine*. Ce produit azoté du corps animal a été étudié par Wagner[4] au point de vue de sa valeur nutritive. Du maïs cultivé dans l'eau et ayant reçu cet unique aliment azoté a formé des épis avec des grains mûrs. Au commencement, des traces de créatine pouvaient être observées dans la solution, mais elles disparurent plus tard sans qu'il se fût formé des champignons ou de l'ammoniaque ; cependant Wagner découvrit encore des cristaux de créatine dans la tige. Il résulte de cette expérience que cette substance est également un de ces aliments azotés que la plante absorbe intégralement.

6. *Leucine et Tyrosine*. Knop et Wolf[5] ont reconnu que ces deux

---

1. *Chemisches Centralblatt*, 1866, p. 744.
2. *Landwirthschaftliche Versuchsstationen*, 1868, p. 180.
3. *Ibid.*, 1869, p. 292.
4. *Ibid.*, 1869, p. 292 ; 1871, p. 69.
5. *Chemisches Centralblatt*, 1886, p. 744.

amides, qui sont aussi principalement des produits du corps animal, peuvent être absorbés et élaborés par les végétaux. W. Wolf[1] a trouvé que du seigle cultivé dans l'eau et nourri avec de la tyrosine développait beaucoup de racines et un assez grand nombre de tiges et de feuilles ; de 4gr,5 de tyrosine, que l'on avait donnés à la plante, elle avait absorbé 0gr,18 d'azote. On pouvait constater la présence de tyrosine dans la solution nutritive, sans qu'il s'y formât de l'ammoniaque ou de l'acide nitrique ; les tiges et les feuilles en étaient complètement exemptes et l'extrait des racines en contenait seulement de très faibles traces. En tout cas elle n'entre pas dans les parties aériennes de la plante, et, d'après Wolf, elle est probablement dédoublée avant d'être absorbée.

7. *Guanine.* Johnson[2] a cultivé du maïs dans du sable calciné, additionné des sels nutritifs nécessaires et de guano acide comme unique aliment azoté. Il a constaté que cette substance était certainement absorbée et que de l'azote était assimilé, mais il a négligé de rechercher si la guanine subissait une transformation dans le sol.

8. *Asparagine.* Cet amide a été étudié par Bente[3] au point de vue de son utilisation comme aliment végétal. Des plantes de maïs élevées dans l'eau et ayant reçu de l'asparagine comme unique nourriture azotée, se développèrent comme si elles avaient reçu de l'ammoniaque, c'est-à-dire plus faiblement qu'à l'état normal, mais avec des signes certains de l'absorption de cette substance.

9. Bente[4] a reconnu également que l'acétamide pouvait servir d'aliment azoté au maïs, qui s'en nourrissait comme de l'asparagine.

10. Enfin on a institué des essais avec toute une série de composés azotés organiques, qui ont donné tous un résultat négatif au point de vue de la question dont nous nous occupons ; je parle de l'acide nitro-benzoïque, de l'acide amido-benzoïque qui, donnés à des herbes et au sarrasin comme sel potassique, ont causé la mort de ces plantes ; en outre de la morphine, de la quinine, de la cinchonine, de la caféine, de la thiosinamine, dont les solutions produisaient l'effet

1. *Landwirthschaftliche Versuchsstationen*, 1868, p. 13.
2. *Ibid.*, 1866, p. 235.
3. *Botanischer Jahresbericht*, 1874, p. 838.
4. *Landwirthschaftliche Versuchsstationen*, 1865, p. 463.

d'eau distillée et dont les deux dernières agirent d'une façon positivement nuisible ; enfin du cyanoferride de potassium, opérant également comme un poison.

Nous voyons d'après ce qui précède que, parmi les composés azotés organiques qui peuvent servir à la nutrition des végétaux, ceux-là tiennent la tête qui sont des produits ou bien des excréments du corps animal ; ce qui indique un mouvement de va-et-vient de l'azote entre les deux règnes organiques. Cependant, si les alcaloïdes végétaux ont été reconnus impropres à la nutrition, cela ne prouve pas encore que d'autres combinaisons organiques — nommément celles qui, dans les tissus végétaux morts, tels qu'ils sont contenus dans l'humus, opposent une assez longue résistance à la décomposition — ne puissent pas être rendues directement assimilables par les racines des plantes et être de nouveau utilisées ; mais ce n'est là qu'une hypothèse.

CHAPITRE IV

L'AZOTE LIBRE DE L'AIR PEUT-IL ÊTRE UTILISÉ POUR LA NUTRITION DES PLANTES ?

Puisqu'il est démontré que, par des actions chimiques constantes, de l'azote libre se dégage des combinaisons azotées, il s'ensuit nécessairement que par d'autres actions de l'azote libre en quantité approximativement égale est engagé dans de nouvelles combinaisons ; s'il en était autrement, les composés azotés auraient depuis longtemps disparu de la terre.

C'est la tâche de la science de prouver que ces échanges ont réellement lieu, et d'expliquer en détail comment et sur quelle quantité ils s'opèrent. Ces questions ont un très grand intérêt pour l'agriculture, car s'il existe des procédés naturels par lesquels des combinaisons azotées sont formées sans notre intervention à l'aide de l'azote libre, cela équivaut à dire que des aliments végétaux azotés sont offerts à l'agriculture sans frais et sans risque d'épuisement. L'azote circulerait ainsi sous forme de combinaison dans le monde organique et sous forme d'élément dans l'atmosphère, et dans cette

...a perte de l'azote dans l'agriculture serait au moins ...e n'est compensée avec bénéfice.

...ésumons les notions acquises jusqu'ici sur les différentes ...ont l'azote libre peut s'engager dans des combinaisons, ...ons, d'une part, une série de procédés de nature inorga... ...ont quelques-uns seulement méritent d'être pris en considé... ...cause des vastes proportions où ils se produisent dans la ...e; d'autre part, nous voyons les plantes vivantes ou du moins quelques espèces auxquelles on a cru devoir attribuer l'aptitude à former cette combinaison. Nous aurons à examiner en détail les circonstances où cette dernière s'exerce.

I. — Fixation de l'azote par voie inorganique.

La chimie a réussi en plusieurs cas à combiner artificiellement l'azote avec d'autres substances. On prépare du ferrocyanure de potassium avec l'azote libre de l'atmosphère, en dirigeant l'air au-dessus de charbons ardents en présence d'une substance fortement alcaline. Avec des cyanures on peut encore préparer des sels ammoniacaux, de sorte que par ce moyen on pourrait préparer artificiellement des aliments végétaux azotés avec de l'azote libre. Le chimiste français F. Margueritte[1] a cherché à appliquer ce procédé en calcinant avec du charbon, dans l'air atmosphérique, de la baryte caustique; celle-ci absorbe l'azote de l'air et forme du cyanure de barium qui, à 300 degrés centigrades, cède tout son azote sous forme d'ammoniaque dans un courant de vapeur d'eau.

Les chimistes savent en outre qu'en dirigeant pendant assez longtemps l'étincelle électrique dans un mélange de gaz hydrogène et d'azote, on peut produire de l'ammoniaque, en petite quantité à la vérité, aux dépens de l'azote libre, et que si on dirige de l'azote, de la vapeur d'eau et du gaz oxyde de carbone sur de la chaux calcinée, il se produit également du carbonate d'ammoniaque, en même temps que l'eau se dédouble[2].

Il est aussi prouvé qu'il se forme de l'acide nitrique quand on brûle

1. *Landwirthschaftliche Versuchsstationen,* 1861, p. 102.
2. Perrot. *Jahresbericht der Chemie,* 1859, p. 35.

de l'hydrogène, quand l'étincelle électrique fait détonner un mélange de gaz d'hydrogène et d'air, ou quand on brûle du phosphore sous une cloche de verre[1]. En outre, le palladium hydrogéné forme de l'acide nitreux avec de l'eau, de l'azote et de l'oxygène[2]. On prétend aussi qu'en comprimant fortement l'air atmosphérique une partie de l'azote et de l'oxygène se combinent et forment de l'acide nitrique.

En dehors de ces procédés, qui n'ont pas lieu spontanément dans la nature et qui jusqu'ici n'ont pu être utilisés pour produire artificiellement des composés azotés à l'aide de l'azote libre, et ne peuvent par conséquent être considérés comme des sources de nutrition végétale, la nature inorganique en grand nous offre quelques phénomènes qui pourraient jouer un rôle au point de vue de notre question et qui, pour cette raison, méritent d'être soumis à un examen plus détaillé.

En premier lieu se présente la question de savoir si l'ozone, dont on sait qu'il a le pouvoir de transformer l'ammoniaque en nitrate d'ammoniaque, a également le pouvoir d'oxyder l'azote libre. Mais d'après Carius[3] cette oxydation ne réussit ni à l'état sec, ni à l'état humide, ni à une température ordinaire, ni à une température élevée, observation confirmée par Berthelot[4].

Schönbein[5] a essayé de démontrer qu'en présence de la simple évaporation de l'eau, l'azote libre de l'air forme du nitrate d'ammoniaque. Mais Carius[3] ainsi que Weith et Weber[6] ont fait voir que la vapeur d'eau ne se combine pas avec l'azote, puisqu'en distillant de l'eau pure exempte d'ammoniaque ou en condensant de la vapeur d'eau dans l'air, il ne se produit aucune trace de nitrate d'ammoniaque. Bretschneider[7] aussi a obtenu un résultat négatif dans l'essai suivant. Il a rempli des caisses de métal ouvertes d'une contenance d'un demi-pied cube avec de l'eau pure exempte d'ammoniaque ou

1. *Gmelin's Handbuch der Chemie,* I, 2, p. 470.
2. *Berichte der deutschen chem. Gesellschaft,* XII, p. 1553.
3. *Ann. chim. et pharm.,* CLXXIV, p. 1.
4. *Berichte der deutsch. chem. Ges.,* 1877, p. 233.
5. *Ann. chim. et pharm.,* CXXIV, p. 1-13.
6. *Berichte der deutsch. chem. Ges.,* 1877, p. 1746.
7. *Annalen der Landw.,* 1870, p. 25.

avec du sable quartzeux pur, qu'il humectait avec de l'eau pure, et les a laissées exposées à l'air libre pendant une année en les abritant contre la pluie. Au bout de ce temps, le vase rempli d'eau avait évaporé 48 kilogr. d'eau et contenait $3^{mg},43$ d'ammoniaque et $0^{mg},55$ d'acide nitrique; la caisse remplie de sable quartzeux avait évaporé $34^{kg},5$ d'eau et contenait $15^{mg},96$ d'ammoniaque et $0^{mg},001$ d'acide nitrique. Les faibles doses d'ammoniaque pouvaient seulement provenir de l'absorption de gaz ammoniac contenu dans l'air, mais l'évaporation de l'eau n'avait pas donné lieu à la formation de nitrate d'ammoniaque, ainsi qu'il est prouvé par l'absence ou par les faibles traces d'acide nitrique.

Mais il est certain que l'étincelle électrique et par conséquent la foudre produisent des composés azotés avec l'azote libre. Cavendish a déjà prouvé, en 1784, que l'étincelle électrique transforme, par oxydation, de l'azote atmosphérique libre en acide nitreux ou en acide nitrique. Ce fait s'accorde avec cet autre que dans l'air atmosphérique, particulièrement dans l'eau de pluie, surtout pendant les orages, on peut constater la présence d'acide nitrique et d'acide nitreux, ainsi que Liebig l'a déjà remarqué en 1826.

Ces acides sont ici en partie unis à de l'ammoniaque, dont la présence dans l'air a déjà été constatée plus haut. Des nombreux dosages de l'acide nitrique des eaux météoriques, que Boussingault [1] a faits en 1856-1857 dans différents endroits de la France, il résulte qu'à plusieurs reprises on n'a trouvé aucune trace d'acide nitrique dans l'eau de pluie, même en été, mais que dans beaucoup de cas on a pu en constater quelques traces oscillant de juillet à octobre entre 1,88 et 6,23 millionièmes (dans un litre d'eau de 1,88 à 6,23 milligrammes), et du mois de décembre jusqu'en avril entre 0,37 et 2,11 millionièmes. La teneur de la neige en acide nitrique oscillait entre 0,580 et 3,873 millionièmes, celle du brouillard en octobre et novembre à Liebfrauenberg entre 0,822 et 1,825 millionièmes; un brouillard, qui s'était étendu sur Paris en décembre, contenait 10,108 millionièmes d'acide nitrique. Dans la rosée, on a trouvé en septembre et en octobre une teneur variant entre des traces à peu près insen-

1. *Agronomie,* II, p. 311 et sqq.

sibles et 1,121 millionièmes; mais il faut ajouter que dans 28 dosages sur 30 la teneur était inférieure à 1 millionième. Les stations agronomiques de Prusse ont dosé pendant plusieurs années l'acide nitrique contenu dans l'eau de pluie et de neige, en ayant égard aux différents mois et aux différentes saisons. Voici les nombres, exprimés en millionièmes, qui ont été obtenus en 1865-1866.

	IDA-MARIENHÜTTE.	REGENWALDE.	DAHME.	KUSCHEN.	INSTERBURG.
Printemps . . .	1,15	4,11	0,62	0,72	1,59
Été	0,83	1,53	0,91	0,77	1,00
Automne . . .	0,49	1,69	1,70	0,66	1,10
Hiver.	1,32	1,53	1,65	0,42	3,42

Eu égard aux mois, Regenwalde, par exemple, a présenté en 1866-1867 les nombres suivants : mars 2,736, avril 2,395, mai 2,660, juin 3,102, juillet 0,912, août 1,988, septembre 3,242, octobre 7,386, novembre 1,637, décembre 2,781, janvier 2,056, février 1,998 millionièmes. Dans les recherches qui ont été faites en Angleterre sur l'eau de pluie, de 1855 à 1880, par Lawes, Gilbert et Warington [1] à Rothamsted, il se trouve aussi des dosages de l'acide nitrique qui a oscillé en moyenne dans les années 1855-1856 entre 0,12 et 0,33 millionièmes. D'après ces nombres, on voit que dans toutes les saisons les eaux météoriques contiennent une certaine dose d'acide nitrique, et que celle-ci n'augmente pas régulièrement avec la fréquence des orages, puisqu'en plusieurs cas les mois d'été présentent précisément la plus faible, et les mois plus frais la plus forte teneur en acide nitrique.

Pour avoir une idée de la quantité d'azote apportée au sol sous forme d'aliments végétaux par les eaux météoriques, on peut admettre avec Mayer comme moyenne annuelle une quantité de pluie de $0^{m},72$, et calculer, d'après les nombres de Boussingault, la teneur moyenne de cette eau en acide nitrique et en ammoniaque. On aura par hectare et par année : $1^{kg},82$ d'ammoniaque, $0^{kg},88$ d'acide nitrique = $2^{kg},70$ d'azote.

Eu égard à la quantité plus grande de pluie, qui tombe en Angleterre, Lawes, Gilbert et Warington portent ce nombre à $1^{kg},8$-$2^{kg},3$

1. *Journal of the Royal Agricultural Society of England*, vol. XVII, n° 33, p. 241.
2. *Agriculturchemie*, I, p. 193.

par acre, c'est-à-dire $4^{kg},45$ à $5^{kg},68$ par hectare. Cette quantité serait donc plus grande si l'on prenait comme base une plus grande masse d'eau de pluie ou une plus forte teneur d'acide nitrique et d'ammoniaque dans cette eau de pluie, telle que nous l'observons en réalité dans quelques localités isolées. Mais même cette quantité, comparée à l'azote que nous enlevons à un hectare dans une récolte moyenne annuelle, et que nous sommes obligés d'évaluer à peu près à 50 kilogr., ne compenserait guère les pertes inévitables en azote que subit l'agriculture. Remarquons encore que, même si nous savons combien les eaux météoriques fournissent d'azote, nous ne pourrons pas pour cela résoudre la question qui nous intéresse particulièrement ici, à savoir, quelle est la quantité d'azote libre transformée par la foudre en composés azotés. Car l'ammoniaque, contenue dans l'air et dans les eaux météoriques, provient en grande partie de phénomènes ayant lieu à la surface de la terre et produisant une volatilisation de cette substance. Et même l'acide nitrique ne résulte pas exclusivement de l'oxydation d'azote libre par des décharges électriques; il provient en partie de l'effet bien connu de l'ozone, qui transforme l'ammoniaque atmosphérique en nitrate d'ammoniaque. Ainsi nous ne possédons aucun moyen de déterminer exactement la quantité d'azote libre qui peut être fixé par la voie en question; il est seulement certain que la conversion de l'azote libre en acide nitrique par l'éclair joue un rôle très secondaire dans la circulation de cet élément.

Enfin nous devons mentionner les opinions d'après lesquelles de l'azote libre est fixé dans le sol. Nous entrons ici dans un domaine où règne encore la plus grande confusion, car en dehors des observations reconnues plus tard comme erronées, nous rencontrons des recherches dont les unes, par la manière dont elles ont été faites, ne justifient pas les conclusions qui en ont été tirées, et dont les autres ont conduit à des résultats contradictoires, quand elles ont été répétées par d'autres expérimentateurs.

Nous avons d'abord toute une série d'auteurs qui admettent cette fixation de l'azote libre. Hermann[1] a déjà prétendu, en 1844, qu'elle

1. *Journal für praktische Chemie,* XXVII, p. 157.

avait lieu quand le bois se putréfie. Il a placé du bois en partie frais, en partie entamé par la pourriture au-dessus d'une cuvette de mercure dans de l'air atmosphérique confiné, dont la composition a été ensuite déterminée gazométriquement. Le bois frais commençant seulement à pourrir absorba 1 volume d'azote et 2 volumes d'oxygène et donna en échange 4 volumes d'acide carbonique; tandis que le bois, dont la putréfaction était plus avancée, absorba 3,5 volumes d'azote et 27,8 volumes d'oxygène et donna en échange 27 volumes d'acide carbonique. Hermann pense que le bois et l'azote absorbé forment un composé azoté organique, la « nitroline », et que celle-ci, à mesure que la pourriture progresse, se transforme en ammoniaque, qui en fait a été reconnue comme un élément constitutif du bois pourri et de beaucoup d'espèces de tourbe. Mais cette théorie, d'après laquelle le bois et l'azote libre forment de la nitroline, repose sur l'hypothèse erronée que le bois, qui est ici identifié sans plus ample examen avec la combinaison ternaire, la cellulose, est regardé comme un corps exempt d'azote, ce qui n'est pas vrai. Il est plus naturel d'admettre que le composé azoté, désigné dans le bois pourri sous le nom de nitroline, dérive des éléments azotés du bois primitif, opinion qui ne contredit en rien le fait réellement observé de l'absorption de gaz azote au moment de la putréfaction. D'après Hermann, cette absorption se produit toutes les fois que des parties végétales pourrissent dans le sol pour former de la tourbe et de l'humus.

Boussingault[1] prétend avoir constaté dans des essais sur du sol, que l'azote de ce dernier augmentait par simple contact avec l'air. Il s'est servi d'une terre végétale consistant en un sable foncé, dont il laissa 120 gr. pendant trois mois dans un vase en verre ouvert, en arrosant tous les jours avec de l'eau distillée exempte d'ammoniaque. Avant l'essai, ce sable contenait $0^{gr},3132$, après l'essai $0^{gr},3222$ d'azote, ce qui correspondrait à une augmentation de $0^{gr},0090$. Il exposa aussi à l'air libre, en les protégeant contre la pluie et la rosée, deux pots à fleurs sans terre, qui avaient été auparavant calcinés, et dont l'un fut tenu sec, tandis que l'autre fut arrosé avec de l'eau

1. *Agronomie*, I, p. 318-356.

exempte d'ammoniaque. Au bout de 3 mois et demi il observa une augmentation en azote de 0gr,003. Boussingault explique ainsi ces observations; il dit que l'azote de l'atmosphère s'est converti par combustion lente en acide nitrique[1]; mais ce fait ne ressort pas des essais cités, car dans l'un et l'autre on a simplement dosé l'azote total sans déterminer combien il en existait sous forme de substance organique, et combien sous forme d'acide nitrique.

Dehérain[2], en chauffant au bain-marie pendant cent heures dans des vases clos de l'air avec une dissolution de sucre d'amidon et de soude, a pu constater à la fin de l'expérience la disparition de l'oxygène et une disparition partielle de l'azote; il croit donc qu'ici l'azote et l'oxygène se combinent. Comme il prétend avoir constaté également qu'à la température ordinaire il se forme une faible dose d'ammoniaque quand on dirige de l'air sur une solution de sucre de raisin additionnée de soude ou sur des copeaux humides, sur du terreau, etc., il conclut, en outre, que dans le sol aussi la lente oxydation des substances organiques amène à sa suite l'oxydation dans l'air atmosphérique.

Simon[3] a trouvé que, si on réunit dans des vases clos en verre du gaz azoté pur avec de l'acide humique, dissous dans de l'eau distillée, le volume du gaz azote se trouve diminué après un certain nombre de jours, et qu'il s'est formé de l'ammoniaque dans le liquide. L'essai, plusieurs fois répété, même avec de l'acide humique exempt d'azote et chimiquement pur, a toujours donné le même résultat, d'où Simon conclut que l'acide humique a la propriété d'absorber l'azote de l'air et de former de l'ammoniaque. Il a observé en même temps la formation d'acide carbonique, parce que la production de l'ammoniaque entraîne la décomposition d'une certaine quantité d'eau, et que l'oxygène devenu libre oxyde une partie du carbone de l'acide humique.

Depuis 1876, Berthelot[4] a fait plusieurs rapports sur des observa-

1. *L. c.*, p. 317.
2. *Comptes rendus*, vol. LXXII, p. 1352.
3. *Landwirthschaftliche Versuchsstationen*, 1875, p. 452.
4. *Comptes rendus*, vol. LXXXII, p. 1283; vol. LXXXIII, p. 933.

tions dans lesquelles on a constaté qu'en présence de faibles décharges électriques sans étincelles, certaines substances organiques, telles que le papier, la dextrine, etc., absorbaient une faible dose d'azote atmosphérique combiné. En supposant que ces observations soient exactes, on pourrait en conclure une fixation de l'azote par l'intermédiaire de l'électricité atmosphérique non seulement dans le sol, mais encore, conformément à la conjecture de Berthelot, dans les plantes.

Hübnefeld[1] prétend qu'on obtient de l'acide nitrique en mélangeant du carbonate de magnésie ordinaire avec du pyrolusite, en y ajoutant de l'eau et en faisant traverser le tout par un courant d'air. Reichhardt[2] a répété cette expérience, sans introduire de l'air dans le mélange, mais en le secouant fortement de temps en temps. Après s'être bien assuré qu'il ne s'y était point trouvé d'acide nitrique, il a constaté déjà après 3-4 jours les premières traces de cette substance, qui ressortirent encore plus nettement au bout d'une huitaine de jours; il a également remarqué que la magnésie seule suffisait pour produire de l'acide nitrique.

Berthelot[3] a publié récemment un travail dans lequel il s'occupe également de la fixation de l'azote atmosphérique dans certains sols. Il a rempli jusqu'à une hauteur de $0^m,45$, avec 50-60 kilogr. de quatre sols argileux différents, des vases cylindriques ouverts ayant $0^m,36$ de diamètre, et les a laissés exposés à l'air dans une chambre, depuis le 29 mai 1884 jusqu'au 24 octobre 1885. L'azote total contenu dans le sol était au commencement de l'expérience de $0^{gr},0709$, à la fin de $0^{gr},1179$. Il a été constaté en même temps que la nitrification est restée stationnaire pendant l'hiver et qu'elle a été presque nulle durant la seconde année. Des essais analogues ont été aussi entrepris à l'air libre dans un pré; on s'est servi de vases en verre contenant chacun 1 kilogr. de terre, lequel avait une superficie de 113 centim. carrés et une profondeur de $0^m,08$-$0^m,1$. Ici on a constaté également une augmentation, mais quelquefois aussi une diminution de l'azote. A

1. *Centralblatt für Agriculturchemie,* 1879, p. 327.

2. *Nachrichten aus dem Club der Landwirthe zu Berlin,* 1878, n° 82, p. 460.

3. *Fixation directe de l'azote atmosphérique libre par certains terrains argileux. Comptes rendus,* 1885, p. 775.

côté des vases en verre on a recueilli l'eau de pluie afin d'en doser l'ammoniaque. Il a été impossible de doser l'acide nitrique, puisqu'il n'y en avait pas même $0^{gr},0001$. Un autre vase, placé à côté, a servi à déterminer au moyen de l'acide sulfurique la teneur de l'air en ammoniaque. On a calculé que l'azote apporté par l'ammoniaque de l'air et par la pluie était de 5 kilogr. par hectare; tandis que les analyses du sol indiquèrent une augmentation d'azote dans le sol de 25 à 40 kilogr. par hectare. De la terre, mise dans des flacons fermés, a également donné, dit-on, une augmentation d'azote, aussi bien à la lumière que dans l'obscurité ; dans le premier cas, cependant, la moyenne a été plus forte que dans le second. Dans tous ces essais l'analyse a montré que l'augmentation en azote n'avait pas eu lieu sous forme de nitrate ou d'ammoniaque, mais sous forme de combinaisons azotées. Berthelot y voit l'indication d'une intervention des microorganismes. Il a été confirmé dans cette opinion par les essais suivants. Il stérilisa pendant deux heures, à une température de 100°, 1 kilogr. de chacun de ses sols dans des vases clos et y laissa ensuite pénétrer l'air à travers un tampon en coton glycériné, et porté à 130°. Conservé de cette façon depuis juillet jusqu'à octobre, le sol montra ensuite une teneur en azote égale ou très peu inférieure à celle qu'il avait auparavant. Mais ni le contact avec l'air libre, ni l'addition d'une portion de sol non stérilisé, ne put rendre au sol ainsi traité la propriété de fixer à nouveau de l'azote. Cependant ces essais ne suffisent pas pour justifier la conclusion d'après laquelle les microorganismes sont dans le sol les agents de la fixation de l'azote, quand même il n'y aurait rien à y objecter. Déjà l'observation que l'addition d'une certaine quantité de sol non stérilisé ne pouvait pas rétablir l'aptitude antérieure pourrait faire hésiter à adopter cette conclusion ; mais cette hésitation devient encore plus grande quand on réfléchit que la stérilisation du sol en a probablement changé les propriétés sous différents rapports, et qu'il est donc tout à fait arbitraire de vouloir rendre l'unique destruction des microorganismes responsable du changement observé dans l'aptitude du sol. En outre, Berthelot ne fournit aucune preuve qu'il ait réellement existé des microorganismes dans les sols qu'il a employés. Contre l'essai lui-même nous objecterons d'ailleurs que, dans les

sols non stérilisés, comme l'auteur l'indique lui-même, la surface s'est bientôt couverte de végétation pendant l'expérience, de sorte qu'on n'était pas en présence de l'effet produit par le sol seul; rien ne nous empêche de supposer que les plantes vivantes ont amené l'augmentation de l'azote.

Maintenant nous arrivons aux expérimentateurs qui ont été amenés par leurs observations à nier la fixation de l'azote libre par le sol. Wolf[1] a répété les essais de Dehérain; il a enfermé dans des verres de l'air atmosphérique avec des échantillons de terre, et les a maintenus en contact pendant des jours ou des semaines à une température déterminée. On a pu constater dans quelques verres une disparition totale ou partielle de l'oxygène remplacé par un volume égal d'acide carbonique, mais jamais il n'y a eu de déficit dans l'azote. Wolf déclare donc que l'opinion de Dehérain relative à la formation de composés azotés au moyen de l'azote atmosphérique libre dans la terre végétale n'est pas démontrée.

Pagel[2], qui n'admet pas l'exactitude des résultats obtenus par Simon, a trouvé que la substance tourbeuse absorbe à la vérité l'oxygène, mais non point l'azote.

Grete[3] nie qu'un mélange d'air et de carbonate de magnésie ou de pyrolusite forme de l'acide nitrique; il déclare que c'est là une illusion produite par l'impureté des matériaux employés, la magnésie et la pyrolusite contenant souvent un peu d'acide nitrique dont quelques traces peuvent même se trouver dans le papier à filtrer.

Mais cette objection n'atteint pas les indications de Reichhardt, mentionnées plus haut, puisque cet expérimentateur remarque expressément qu'avant de se servir de ses matériaux il s'est assuré qu'ils ne renfermaient pas d'acide nitrique.

Schlœsing[4] a également constaté que les assertions de Dehérain n'étaient pas confirmées. Des dissolutions bouillies de soude et de sucre de raisin dans des tubes hermétiquement fermés contenaient, après avoir été chauffées, à peu près le même taux d'azote qu'aupa-

---

1. *Annalen der Landwirthschaft,* 1872, n° 23, p. 191.
2. *Centralblatt für Agriculturchemie,* 1877. Suppl., p. 349.
3. *Berichte der deutsch. chem. Gesellsch.,* 1879, n° 6, p. 674.
4. *Ann. de chim. et de phys.,* XXIV, p. 284.

ravant. Schlœsing attribue l'observation de Dehérain à cette circonstance qu'on n'a pas dosé les nitrates contenus dans la soude hydratée, quoiqu'elle en contienne presque toujours. Enfin, de l'azote pur, dirigé à travers de la terre végétale pure ou mélangée avec différents alcalis, a augmenté de volume, mais ne s'est engagé dans aucune combinaison.

II. — Opinions des physiologistes.

Saussure[1] nie déjà que la plante soit apte à assimiler l'azote libre de l'air, c'est-à-dire à l'engager dans des combinaisons azotées; il dit qu'il a fait des analyses gazométriques d'une atmosphère dans laquelle il avait enfermé des plantes et des parties de plantes, et qu'il n'a pu constater aucune absorption de gaz azote.

Mène[2] a cultivé des plantes dans du verre pilé, qu'il arrosait avec de l'eau distillée; il a cru remarquer que l'azote des plantes augmentait, mais il a observé d'autre part que, si des plantes poussaient dans un sol contenant du nitrate d'ammoniaque, celui-ci diminuait dans le sol, mais que la teneur en azote de l'air environnant les plantes restait la même. Roy[3] pensait que les plantes peuvent assimiler de l'azote atmosphérique libre, si celui-ci est dissous dans l'eau et est absorbé avec elle par les racines. Ville[4] a fait, dans les années 1850 à 1856, des essais d'où il conclut que la plante peut assimiler de l'azote libre. Après avoir constaté que des composés azotés organiques, par exemple des semences de lupin pulvérisées, perdaient, en se décomposant, une partie de leur azote sous forme d'ammoniaque, et une autre sous forme de gaz nitreux, il a cultivé des plantes dans du sable calciné, mélangé avec des semences de lupin pulvérisées, et il a dosé à la fin des essais l'azote contenu dans la récolte et dans le sol. On a introduit dans le sol ainsi préparé $4^{gr},015$ de semences de lupin pulvérisées $= 0^{gr},238$ N., et 20 semences $= 0^{gr},021$ N.; ensemble $0^{gr},259$ N. Après 3 mois et 20 jours on a ré-

1. *Recherches chimiques sur la végétation*, 1804, p. 206.
2. *Comptes rendus*, 1851, t. XXXII, p. 180.
3. *Ibid.*, 1855, t. XXXIX, p. 1133.
4. *Ibid.*, t. XXXV, p. 464; t. XXXVIII, p. 703 et 723; t. XLI, p. 757.

colté $0^{gr},116$ N., et il est resté dans le sable $0^{gr},091$ N.; ensemble $0^{gr},207$ N. Ville ajoute encore l'azote, dont il a constaté la disparition, dans de tels mélanges dépourvus de végétation, sous forme d'ammoniaque et de gaz nitreux, à savoir $0,058 + 0,087 = 0^{gr},145$ N., et il obtient ainsi $0^{gr},352$ N., par conséquent plus qu'il n'en avait été introduit dans le sol. En prolongeant l'essai, il a trouvé que le taux d'azote du sable ne diminuait pas sensiblement, tandis que celui des plantes, qui y poussaient, continuait d'augmenter; par exemple, après un essai ayant duré 6 mois, la teneur du sable en azote était encore de $0^{gr},0965$, tandis que celle de la récolte était montée à $0^{gr},188$. Boussingault[1], qui a également entrepris des recherches spéciales sur cette question dans les années 1850-1860, est arrivé à un résultat contraire. C'est sur les expériences de ce savant, faites avec la plus grande circonspection et le soin le plus minutieux, que reposent les fondements de cette partie de la théorie de la nutrition végétale. Il a semé des semences de haricots (*Phaseolus vulgaris*) et de lupin dans des pots à fleur calcinés et les a fait germer dans un sol qui était composé de pierre ponce calcinée à laquelle on avait ajouté des cendres de haricots et de lupin et que l'on arrosait avec de l'eau pure distillée. Les semences germèrent et les plantes se développèrent sous une cloche ou une cage en verre fermée hermétiquement, à travers laquelle on faisait passer au moyen de l'aspirateur outre un peu de gaz d'acide carbonique pur, de l'air atmosphérique qui avait été auparavant lavé dans de l'acide sulfurique, par conséquent dépouillé de toute ammoniaque. Les plantes qui, de cette façon, avaient à leur disposition l'azote uniquement sous la forme de gaz azote atmosphérique libre, se développèrent à la vérité jusqu'à un certain degré; cependant, quand on dosa l'azote trouvé après la récolte dans les plantes et dans le sol, et qu'on en compara le taux avec celui qui avait été apporté à la culture dans les semences, on constata dans les sept essais seulement une perte insignifiante ou un excédent ne dépassant pas quelques fractions de milligrammes. Pour établir une comparaison on institua les mêmes essais dans des conditions absolument identiques avec cette seule différence que les

1. *Agronomie*, I, p. 66 et sqq.

plantes furent exposées à l'air libre; dans ce cas l'azote augmenta constamment de plusieurs milligrammes, augmentation que Boussingault met au compte de l'ammoniaque atmosphérique qui n'avait pas été exclue ici et que les plantes avaient absorbée. Ce sont ces essais qui ont servi de base à la théorie de la physiologie végétale, d'après laquelle l'azote libre de l'air est impropre à la nutrition des végétaux. Mais Boussingault[1] a aussi employé un sol naturel pour instituer des essais de végétation analogues. Il prépara un sol avec 1 000 gr. de sable quartzeux lavé et calciné, 500 gr. de fragments grossiers de quartz, 0gr,2 de cendres de foin, y ajouta 130 gr. ou des quantités moindres de terre végétale ordinaire et arrosa ensuite avec de l'eau distillée exempte d'ammoniaque. Ce sol, qui resta en partie dépourvu de plantes et reçut en partie des semences de lupin, de haricots ou de chanvre, fut maintenu en partie à l'air libre et enfermé en partie sous une vaste cloche en verre, recouverte d'une autre cloche pleine d'acide carbonique. Les essais donnèrent, le plus souvent aussi bien pour les plantes qui poussèrent à l'air libre que pour celles qui avaient été enfermées dans un ballon en verre, une petite augmentation en azote dans le sol et dans la récolte. Par exemple, le poids sec d'une plante de lupin était devenu, au bout de 70 jours, trois fois et demie plus grand que n'avait été celui de sa semence, et son azote avait augmenté de 0gr,0042. Le sol, auquel on avait ajouté 130 gr. de terreau et qui avant l'essai contenait 0gr,34 N., en avait après l'essai 0gr,4 065, c'est-à-dire 0gr,0672 en plus; ce qui fait pour la plante et le sol une augmentation de 0gr,0714. Dans un autre essai avec des haricots on n'avait ajouté au sol que 50 gr. de terreau. Le poids sec de la plante du haricot était devenu environ quatre fois et demie plus grand que n'avait été celui de la semence; sa teneur en azote était de 0gr,0408, avait par conséquent augmenté de 0,0226 eu égard à celui contenu dans la semence. La terre contenait avant l'essai 0gr,1 305 N.; après l'essai on trouva :

Dans la terre	0gr,1272 N
Dans le pot.	0 ,0032 N
Total	0gr.1304 N

1. *Ibid.*, p. 298 et sqq.

par conséquent à peu près le même taux qu'avant l'essai. Boussingault pense que dans toutes ces expériences c'est le sol qui s'est d'abord enrichi en azote et qu'il a ensuite transmis à la plante ce qu'il avait acquis, de sorte que dans le dernier essai où l'on a constaté une égale teneur en azote au commencement et à la fin, le sol avait cédé à la plante tout l'azote qu'il avait absorbé dans l'air. Boussingault semblait certainement autorisé à donner cette explication, puisqu'il avait conclu de ses autres expériences l'inaptitude de la plante à élaborer de l'azote libre, et que, d'autre part, il avait également trouvé une augmentation en azote dans des essais avec du sol dénué de végétation, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent. Dans la suite il a repris les mêmes essais de végétation[1] avec le même sol préparé et avec du lupin dans une atmosphère confinée. Après trois mois, le poids sec de la plante récoltée était devenu à peu près trois fois plus grand que n'avait été celui de la semence. La teneur en azote de la plante était de $0^{gr},0417$; il y avait par conséquent une augmentation de $0^{gr},0217$ eu égard aux $0^{gr},0200$ de la semence. Avant la végétation la teneur du sol en azote était de $0^{gr},3380$, après la végétation de $0^{gr},3834$; elle avait donc augmenté de $0^{gr},0454$. On a constaté en outre que l'ammoniaque contenue dans le sol se montait avant la végétation à $0^{gr},00281$, après la végétation à $0^{gr},00567$, qu'elle avait donc augmenté de $0^{gr},00286$, augmentation correspondant à $0^{gr},0023$ N., et que la teneur en acide nitrique, qui était avant la végétation de $0^{gr},00044$, était après la végétation de $0^{gr},01172$, ce qui fait une augmentation de $0^{gr},01128$, correspondant à $0^{gr},0030$ N. Pour l'ammoniaque et l'acide nitrique réunis nous avons donc une augmentation de $0^{gr},0053$ N. Nous voyons par conséquent que des $0^{gr},0454$ N. nouveaux dans le sol une faible partie seulement a été constituée par l'ammoniaque et l'acide nitrique, et que la plus forte partie existait sous la forme organique. Un ballon placé à côté, fermé de la même manière et contenant le même sol, mais dépourvu de végétation, montra une augmentation en ammoniaque de $0^{gr},0045$, peu supérieure par conséquent à celle de l'essai avec végétation, mais, d'autre part, l'acide

1. *L. c.*, p. 329 et sq.

nitrique avait augmenté de 0gr,07079. Boussingault attribue très justement cette dernière augmentation à l'accumulation de l'acide nitrique qui se forme continuellement et qui n'est ici élaboré par aucune plante. Quant à l'azote sous forme organique dont le sol planté de lupin s'est enrichi, Boussingault cherche à expliquer sa présence par le fait que des germes d'êtres organiques se trouvent dans le terreau, s'y développent et laissent leurs résidus dans le sol; il aurait pu ajouter encore qu'il provient aussi des radicelles ténues qui restent inévitablement dans le sol quand on enlève la terre attachée aux racines. Boussingault[1] a enfin comparé comment son sol d'essai calciné et lavé, par conséquent exempt d'azote, se comportait dans ces essais de végétation à l'air libre, selon qu'il était additionné ou n'était pas additionné d'un peu de terre végétale. Une plante de haricot dans un sol mélangé avec de la terre végétale a donné un poids 7.1 plus grand que celui de la semence et une augmentation en azote de 0gr,0533, tandis que dans un sol sans terre végétale son poids n'a guère dépassé le double de celui de la semence et son azote avait seulement augmenté de 0gr,0074. De même l'azote d'une plante de maïs dans un sol additionné de terre végétale a augmenté de 0gr,0010, et dans un sol sans terre végétale il a diminué de 0gr,0011. Boussingault voit encore dans ce fait l'aptitude de la terre végétale naturelle à absorber de l'azote atmosphérique, tandis qu'il a attribué la légère augmentation de l'azote de la plante de haricot dans le sol entièrement exempt d'azote à une absorption de l'ammoniaque dans l'air.

D'autres savants ont fait des essais analogues. Lawes, Gilbert et Pugh[2] ont institué, à peu près à la même époque que Boussingault, des expériences dans des conditions absolument semblables. Des appareils, disposés avec les mêmes précautions, ont servi à faire pousser des plantes dans un sol également exempt d'azote, au milieu d'une atmosphère confinée absolument dénuée d'ammoniaque. Dans la plupart des essais on a employé un sol argileux, qui avait été au-

1. *L. c.*, p. 348.

2. *On the sources of nitrogen of vegetation with special reference to the question whether plants assimilate free or uncombined nitrogen. Philosophical transactions of the royal Society of London,* 1861.

paravant calciné et lessivé, dans quelques-uns on s'est, au lieu de sol, servi de pierre ponce lavée et calcinée. Les éléments minéraux ont été donnés sous forme de cendres des plantes cultivées. Les expériences ont été variées de telle façon qu'on a examiné s'il y a assimilation d'azote libre, quand les plantes peuvent seulement absorber les composés azotés contenus dans la semence, ou quand elles ont en outre à leur disposition une faible quantité ou un excédent de composés azotés. Dans les essais, où l'on ne donna aucun composé azoté et qui durèrent plusieurs mois, le froment et l'orge, les légumineuses et le sarrasin montrèrent une augmentation en carbone qui alla jusqu'au triple, mais aucune augmentation certaine en azote, de sorte que les plantes cessèrent de croître faute de ce dernier élément. Quand, au contraire, on fournissait aux céréales et aux légumineuses plus ou moins de composés azotés, leur poids sec était 8-12 et jusqu'à 30 fois plus grand qu'il n'aurait été sans cette addition, et le gain en azote assimilé était correspondant. Mais ici aussi il ne se produisit en aucun cas une assimilation distincte d'azote libre. Ces derniers essais démontrèrent d'autant plus nettement que, si dans les précédents la végétation avait cessé, c'était uniquement parce que les plantes n'avaient à leur disposition aucun azote assimilable.

Bretschneider[1] a fait des essais analogues avec des lupins bleus et des haricots nains qu'il a plantés dans un sol calciné, en partie à l'air libre, en partie dans une atmosphère confinée, protégée contre tout accès d'ammoniaque. Les lupins poussèrent très mal dans les deux cas, n'augmentèrent pas leur poids sec, et montrèrent seulement une augmentation insignifiante en azote, qui ne permit pas à l'auteur de tirer une conclusion quelconque. Dans l'essai avec les haricots nains dans l'air confiné, on constata une augmentation de $0^{gr},128$ dans le poids sec, mais une diminution de $0^{gr},0020$ dans l'azote ; l'essai à l'air libre dans le même sol calciné donna une augmentation de $0^{gr},170$ pour le poids sec et de $0^{gr},0031$ pour l'azote, tandis que dans le sol non calciné à l'air libre les nombres corres-

1. *Die landwirthschaftliche Versuchsstation zu Ida-Marienhütte.* IVe rapport, p. 108.

pondants étaient 1gr,532 et 0gr,0357. Bretschneider croit devoir s'abstenir préalablement de tirer aucune conclusion de cet essai.

Depuis que les cultures dans l'eau sont en usage dans la physiologie végétale, la théorie de Boussingault a été encore confirmée davantage ; car dans ces cultures où les semences avec leurs racines se développent dans des dissolutions composées à volonté, on voit régulièrement que, quelque espèce que l'on choisisse, la plante, dans les solutions nutritives ne contenant aucun composé azoté, pousse seulement aussi longtemps que les composés azotés existant dans la semence suffisent à son alimentation, et qu'il ne se produit ici aucune augmentation d'azote dans le végétal, tandis que la plante continue de se développer et que l'azote augmente dès qu'on ajoute un nitrate à la solution nutritive. On a aussi regardé ce phénomène comme une démonstration suffisante que la plante, par elle-même, n'est pas apte à utiliser l'azote atmosphérique comme aliment.

Néanmoins, plusieurs physiologistes ont exprimé la pensée que dans certaines circonstances la plante pourrait tout de même s'assimiler de l'azote atmosphérique fixe. Berthelot qui, ainsi que nous l'avons vu plus haut, prétendait avoir observé une légère fixation d'azote atmosphérique en présence de faibles décharges électriques dans des substances organiques, telles que du papier, etc., croyait que le même phénomène aurait lieu dans les tissus de la plante par l'intervention de l'électricité atmosphérique. A. Mayer, qui admettait avec Schönbein que la vaporisation de l'eau produisait une fixation d'azote, supposait que l'évaporation de la plante pourrait aussi être une source de production d'azote combiné [1]. Mais les assertions sur lesquelles ces opinions sont basées, ou bien sont restées sans preuve, ou bien ont été réfutées directement.

Mais une idée qui a été encore plus souvent exprimée, c'est qu'à défaut des plantes supérieures, certaines formes végétales inférieures, des micro-organismes, sont douées de la faculté d'assimiler l'azote libre et de le ramener ainsi dans le cycle de la vie. Déjà en 1862 Jodin [2] a prétendu qu'on pouvait provoquer dans des dissolu-

1. *Agriculturchemie*, p. 180.
2. *Comptes rendus*, t. LV, p. 612.

tions, non azotées, de sucre, d'acide tartrique, de glycérine, etc., une végétation abondante de moisissures, et que, si ces champignons se trouvent dans une atmosphère confinée d'une composition artificielle, celle-ci subit une déperdition d'azote et de 6.7 p. 100 de son volume d'oxygène, qui est consommé par la respiration. On aimerait à voir citer ici les noms des champignons dont il est question dans cet essai, car cette prétendue faculté d'assimiler de l'azote libre peut être tout au plus attribuée à certaines formes de cryptogames. Du moins, dans les nombreux essais de nutrition institués par Pasteur[1] et Nägeli[2] avec des moisissures et des levures ordinaires, ces savants ont constaté que, si on offre à ces champignons les autres aliments nécessaires mais pas de composés azotés, ils se développent faiblement; leur poids à la vérité subit une légère augmentation, qui doit être mise au compte des éléments non azotés, mais leur teneur en azote subit même une légère diminution. Boussingault[3] a fait encore un essai dont le résultat semble également contredire l'assertion émise ci-dessus ; il a fait moisir du petit lait et, tout en tenant compte de l'ammoniaque formée pendant cette transformation, il a constaté que le taux de l'azote recueilli à la fin était inférieur à celui contenu primitivement dans le petit lait ; mais ce résultat ne peut pas être utilisé pour notre question ; comme il y avait une source alimentaire azotée, on ne peut pas voir quelle influence celle-ci, considérée à part, a exercée sur ce résultat par le changement de sa teneur en azote. Nous pouvons encore moins utiliser les essais de Sestino et Del Tore[4], dont le but était de déterminer si les engrais artificiels perdent de l'azote en moisissant, ou si les champignons prennent en ce cas l'azote qui leur est nécessaire dans l'atmosphère ; car ici le petit lait, placé simplement sous une cloche en verre, a donné, soit à lui seul, soit mélangé avec de l'argile ou du marbre pulvérisé, après qu'il eût moisi, une petite augmentation en azote, qui pouvait bien dériver de l'ammoniaque de l'air.

1. *Ann. de chim. et de phys.*, 1862, 3e sér., vol. LXIV, p. 106.

2. *Ernährungschemismus der niederen Pilze. Sitzungsbericht der Münchener Akademie.* Juillet 1879.

3. *Agronomie*, II, p. 340.

4. *Landwirthschaftliche Versuchsstationen*, 1876, p. 8.

Actuellement quelques savants croient que certains champignons d'espèce inférieure sont aptes à faire entrer de l'azote libre en combinaison par une sorte de fermentation. Cette idée a vite trouvé cours dans des cercles peu scientifiques ; ce qui se comprend facilement à une époque où on a la tendance d'attribuer tout ce qu'on ne peut pas expliquer à l'intervention d'un microorganisme spécial. Il n'est pas impossible qu'il existe de pareils microorganismes, car il a été démontré par des preuves incontestables que certains phénomènes de fermentation et de pathogénie sont dus à l'action d'êtres vivants infiniment petits. Mais dans les questions qui nous occupent il faut exiger très sévèrement que la science fournisse d'abord la preuve irréfutable de leur existence. Plus haut, en parlant des essais dont Berthelot a conclu à l'intervention de microorganismes pour fixer l'azote dans le sol, nous avons vu que ce savant n'a pas pu appuyer son opinion sur des expériences convaincantes. Hellriegel[1], de son côté, a attribué dans un autre sens aux microorganismes la faculté de fixer l'azote libre. Comme la botanique l'enseigne depuis très longtemps, les racines de toutes les légumineuses sont pourvues d'organes en forme de tubercules, dont les cellules parenchymateuses intérieures sont constamment remplies d'innombrables corpuscules ayant la forme de bactéries. Jusqu'à ces derniers temps nous avons regardé unanimement ces tubercules comme des formations cryptogamiques, d'autant plus qu'il avait été démontré par mes recherches[2] qu'on pouvait, dans la plupart des cas, sinon dans tous, empêcher leur formation en stérilisant le sol, de sorte qu'il était naturel de penser que ces tubercules, avec leur contenu, ressemblant à des champignons, provenaient d'une infection par les microorganismes vivant dans le sol. Hellriegel admet donc que ces tubercules, grâce à leurs bactéries, ont un rapport direct avec l'assimilation de l'azote normal de l'atmosphère. Il croit que son opinion est confirmée par les observations suivantes. Dans un sol exempt d'azote, à savoir, dans du sable quartzeux calciné et lessivé, additionné des éléments nutritifs minéraux nécessaires, des papilionacées, par

1. *Tagblatt der Naturforscher-Versammlung zu Berlin*, 1886, p. 290.

2. *Ueber die Parasiten in den Wurzelanschwellungen der Leguminosen. Botanische Zeitung,* 1879, n°s 24 et 25.

exemple, des lupins, végètent misérablement et leurs racines sont dépourvues de tubercules ou n'en ont que de chétifs. Mais si l'on ajoute à un tel sol une petite quantité de terre arable, les plantes poussent sensiblement mieux et leurs racines sont toutes pourvues de tubercules. Chez différentes papilionacées il n'y a que certaines espèces de sol dont l'addition provoque la formation de tubercules et une meilleure végétation, d'où l'on conclut qu'il existe pour chaque plante des microorganismes spéciaux formant des tubercules et assimilant de l'azote. J'ai déjà montré ailleurs[1] que ces observations ne suffisent pas pour justifier une pareille conclusion. D'abord Hellriegel[2] oublie que les travaux récents d'un de mes élèves, Brunchorst, ont établi qu'il n'est pas du tout certain que les corpuscules contenus dans les cellules des tubercules des racines soient réellement des organismes ; ce jeune savant a démontré que les prétendues bactéries proviennent du plasma des cellules des racines et sont plus tard résorbées de nouveau par la plante, qu'elles sont par conséquent des formations albuminoïdes de la plante elle-même et non point des êtres étrangers ; c'est pourquoi nous les avons désignées sous le nom de « bactéroïdes » ; elles paraissent avoir physiologiquement le caractère de réserves alimentaires. Je ne veux pas m'étendre ici davantage sur la nature de ces corpuscules, puisqu'elle n'a pas de rapport direct avec notre question. Car il s'agit ici bien plutôt de savoir si les tubercules radicaux des légumineuses sont des organes d'assimilation de l'azote libre ; s'ils le sont réellement, alors seulement nous considérerons, en second lieu, si les corpuscules sont des éléments de la plante elle-même, ou des hôtes étrangers recueillis par la plante. Mais les essais de Hellriegel sont loin de fournir une preuve que les tubercules fixent de l'azote libre. La conclusion : les racines des plantes étant pourvues de tubercules, celles-ci se développent mieux, est tout à fait arbitraire ; on devrait plutôt la retourner et dire : puisque les plantes se sont mieux développées, leurs racines sont pourvues de tubercules. En effet, c'est

1. *Deutsche landwirthschaftliche Presse.* 4 décembre 1886.

2. *Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft.* Juillet 1885. — *Ibid.*, mars 1887.

un fait bien connu que les plantes commencent seulement à former des tubercules de cette espèce quand leur développement a atteint un certain degré, et au point de vue physiologique il s'entend de soi que la plante n'est pas en état de former des organes aussi riches en combinaisons organiques que le sont ces tubercules, avant que ses organes aériens d'assimilation ainsi que leur système radiculaire fonctionnent assez bien pour fournir une nourriture suffisante aux tubercules des racines. Les essais de Hellriegel prouvent tout simplement que, dans un sol exempt d'azote, les plantes pousseront mieux, si on y ajoute un peu de bonne terre. C'est là un fait certain, mais cela ne résout nullement la question de savoir quelles sont les différentes causes qui produisent la fertilité du sol.

Pour vérifier par la voie de la physiologie expérimentale l'opinion encore accréditée chez les agriculteurs, d'après laquelle la culture de certaines plantes augmente la richesse du sol en azote, l'essai suivant était tout indiqué : remplir d'une terre, dont la composition exacte était connue, des vases suffisamment grands, qui ne peuvent subir aucune déperdition par lessivage, etc., y semer des semences dont la teneur en azote était également connue, et doser à la fin de l'expérience l'azote du sol ainsi que celui de toute la substance végétale formée, dont le taux, comparé à celui qui existait au début dans le sol et dans la semence, devait nécessairement montrer s'il y a eu accroissement. Dietzell[1] a institué des essais de ce genre, dans lesquels il a employé du terreau tamisé, dont une partie n'a reçu aucune fumure, et dont l'autre partie a été fumée avec de la kaïnite et du superphosphate ; il a mis ce terreau dans des pots placés sur des assiettes profondes en porcelaine, dans lesquelles l'eau de pluie filtrée était recueillie et rendue ensuite au terreau au moyen d'élévateurs. Comme plantes d'essai, il a choisi du trèfle et des pois. A la fin de l'expérience, on a constaté dans toutes une déperdition d'azote. Dans le trèfle non fumé celle-ci était de 5.10 p. 100, dans les pois non fumés de 10.69 p. 100 de l'azote existant au début ; fumés avec de la kaïnite, le trèfle avait perdu 14.76 p. 100, les pois 15.32 p. 100 ; fumés avec de la kaïnite et du superphosphate, le trèfle avait perdu

1. *Naturforscher-Versammlung zu Magdeburg,* 1884.

7.37 p. 100, les pois 0 p. 100 ; fumés avec de la kaïnite, du superphosphate et de la potasse, le trèfle avait perdu 10.38 p. 100, les pois 12.72 p. 100 ; et le terreau, qui avait reçu la même fumure mais qui était dépourvu de plantes, avait perdu 10.24 p. 100. Dietzell a conclu de ces essais que le trèfle et les pois n'absorbaient pas d'azote atmosphérique par leurs organes aériens.

D'autre part, des essais analogues faits par Joulie[1] avec du sarrasin, du raygrass et du trèfle hybride, dans des pots en verre remplis de terre, par Atwater[2] avec des pois, dans des pots qui avaient été remplis de sable exempt d'azote et que l'on avait arrosés avec une solution nutritive azotée, enfin par moi-même avec des lupins dans un sable pauvre en azote, ont montré très nettement un accroissement d'azote. Dans les essais d'Atwater l'augmentation en azote était d'autant plus grande que les plantes s'étaient mieux développées grâce à un des trois facteurs : concentration de la solution nutritive, apport total de principes nutritifs, et apport d'azote, de sorte que les plantes les mieux développées ont dû prendre dans l'air la moitié de leur teneur totale en azote. Atwater conclut de là qu'un développement vigoureux de la plante est la condition de son aptitude à puiser dans l'atmosphère de l'azote combiné ou libre. Dans les circonstances naturelles ordinaires, il faut donc que la dose d'ammoniaque absorbée par les feuilles dans l'atmosphère soit beaucoup plus forte que celle résultant des essais de Mayer et de Schlœsing mentionnés plus haut, qui avaient été institués dans des conditions défavorables de végétation. De même Atwater conteste la valeur démonstrative des essais de Boussingault et de Lawes et Gilbert relativement à l'inaptitude de la plante à assimiler de l'azote libre, puisque les plantes d'essai se trouvaient enfermées sous des cloches de verre et par conséquent dans des conditions anormales ; bien plus il suppose, sans vouloir en trouver une preuve dans ses essais, que de l'azote libre peut être transformé en amides dans l'intérieur des plantes.

Jusqu'en 1886, j'ai également institué des essais analogues, dont

1. *Comptes rendus*, 1885, p. 1008.
2. *Landwirthschaftliche Jahrbücher*, XIV, 1885, p. 621.

les résultats ont déjà été rapportés[1]. Ils ont montré, en premier lieu, que la déperdition d'azote subie par le sol, considéré en lui-même, était notablement diminuée ou qu'il s'y produisait même un accroissement en azote par la présence d'une végétation consistant principalement en lupins, si l'on ajoute l'azote contenu dans ces derniers, et, en second lieu, qu'il en est de même dans une atmosphère exempte d'ammoniaque et contenant, par conséquent, uniquement de l'azote normal. Plus tard je décrirai en détail ces essais ainsi que d'autres institués par moi en l'année 1887.

Dans une communication ultérieure de Hellriegel, il est également question d'une expérience tendant à prouver qu'il se produit un accroissement d'azote, même en l'absence d'ammoniaque. La description n'en est pas assez nette pour qu'on puisse se rendre un compte exact de tous les détails et pour en saisir toute la portée. Des plants de pois, croissant dans des vases remplis de terre, ont été enfermés sous des cloches tubulées, qui reposaient sur un plateau en verre au-dessous duquel les vases de végétation étaient disposés de manière à laisser les plantes pénétrer dans les cloches à travers une ouverture creusée dans le plateau. Ces cloches étaient placées l'une à côté de l'autre et reliées entre elles de façon qu'un courant d'air, qui avait d'abord été lavé dans de l'acide sulfurique et dépouillé aussi de son ammoniaque, fût successivement dirigé à travers chacune d'elles et ne fournît aux plantes que de l'air exempt d'ammoniaque. Hellriegel prétend qu'il s'est produit un accroissement d'azote et veut voir là une preuve que la plante aérienne absorbe l'azote libre de l'atmosphère. Mais il résulte de la manière dont l'essai a été fait, que le sol des vases, où les plantes étaient enracinées, n'était pas hermétiquement fermé à l'accès de l'air des cloches, dans lesquelles se trouvaient les parties aériennes des plantes; il est donc possible que l'azote ait d'abord été fixé dans le sol et qu'il ait seulement été ensuite absorbé par les racines.

III. — Opinions des agriculteurs.

Dans des essais agricoles en grand, on a fait des expériences qui semblent être en contradiction avec les résultats physiologiques de

1. *Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft.* 24 juillet 1886.

Boussingault, d'après lesquels la plante n'est pas apte à assimiler de l'azote libre. Déjà Lawes, Gilbert et Pugh disent dans leur mémoire, cité plus haut, au sujet de leurs propres observations : « Quand on laissait croître d'année en année sur le même champ, sans ajouter aucun engrais azoté, la même espèce de plante, on trouvait que, dans une période de 14 ans, le froment donnait plus de 30 livres d'azote ; l'orge, dans une période de 6 ans, un peu moins ; le foin des prairies, dans une période de 3 ans, à peu près 40 livres, et les haricots, dans une période de 11 ans, plus de 30 livres, par année et par acre. Le trèfle, une autre légumineuse, a donné dans 3-4 années successives un rendement moyen de 120 livres. Des turneps, en 8 années consécutives, ont fourni environ 45 livres. » On a aussi remarqué à cette occasion que le rendement de l'azote fourni par les légumineuses et les plantes à racines pouvait être considérablement augmenté par l'addition d'un engrais minéral, tandis que pour le blé cette augmentation était très faible. L'engrais azoté favorisait peu, troublait même souvent la végétation des légumineuses, tandis qu'il était très profitable aux céréales, dont la teneur en azote est relativement faible ; si les céréales succédaient à des légumineuses ou à de la jachère, l'état des choses était le même. Comme les expérimentateurs anglais, que nous venons de nommer, avaient appris par leurs essais physiologiques mentionnés plus haut que la plante n'assimile point de l'azote libre, ils ne pouvaient arriver à aucune autre conclusion, si ce n'est à celle-ci : « La source d'où découle la grande quantité d'azote combiné et qui, comme nous le savons, existe nécessairement sur la surface du globe et dans l'atmosphère, est encore inconnue. »

Boussingault aussi a obtenu dans les récoltes de 6 rotations différentes, en moyenne, un demi, jusqu'à un tiers d'azote en plus de celui qui avait été offert dans l'engrais. Les plus grands rendements en azote ont été obtenus dans les légumineuses ; les céréales en ont également produit de plus grandes quantités quand elles succédaient aux légumineuses très riches en ce principe.

Des essais analogues ont été faits en Allemagne sur une plus grande échelle et ont donné tout à fait le même résultat. Ici ce sont surtout les sols légers, pauvres en azote, qui ont fait ressortir l'aptitude des

légumineuses à augmenter l'azote du sol, et l'ont fait ressortir avec tant de force, qu'on a cru être obligé de reconnaître cette aptitude comme un fait constant et de la prendre comme base d'un système spécial d'exploitation pour les sols en question. Nous citerons en première ligne les essais de Schultz[1], qui durent depuis de nombreuses années et se continuent encore aujourd'hui dans la propriété de Lupitz, située dans l'Altmark. Son exemple a entraîné d'autres agriculteurs, qui exploitaient des sols analogues, à essayer sa méthode et ils ont obtenu les mêmes résultats. Le sol de la propriété de Lupitz, un sable diluvien, dont le sous-sol consiste en sable et en cailloux roulés, mélangés de blocs erratiques et de sable argileux, ne donnait primitivement que de faibles récoltes en céréales, à savoir 4 quintaux de seigle ou d'avoine par arpent. Après qu'il eut reçu les fumures exigées au point de vue des principes nutritifs minéraux, à savoir de la marne, de la potasse (kaïnite) et de l'acide phosphorique (superphosphate, et plus récemment des scories Thomas-Gilchrist), les céréales, qui avaient eu comme fruit en tête une légumineuse, particulièrement des lupins, fournirent une très bonne récolte, à savoir : froment 7-11 quintaux, seigle 7-10 quintaux, avoine 7-14 quintaux par arpent, tandis que dans les cas où les fruits en tête n'avaient pas été des légumineuses, cet effet favorable n'était pas produit. Schultz-Lupitz a essayé de donner de ces observations une explication qui rentre dans le domaine de la physiologie végétale ; au point de vue de leur nutrition azotée, il divise les plantes culturales en collectrices d'azote et en consommatrices d'azote : les premières, parmi lesquelles il range les légumineuses, peuvent, d'après lui, prendre l'azote qui leur est nécessaire à des sources où les autres ne peuvent point puiser, à savoir dans le sous-sol, au moyen de leurs racines profondes, et dans l'air, au moyen de leurs feuilles ; les consommatrices d'azote, qui sont représentées principalement par les céréales, n'ont pas cette aptitude et pourront seulement se bien nourrir si les collectrices d'azote laissent dans le sol de la matière azotée sous forme de résidus de chaumes et de

1. *Reinerträge auf leichtem Boden. Landwirthschaftliche Jahrbücher*, 1881. Heft V und VI.

racines. Les observations qui ont été faites ne suffisent pas encore pour donner une base solide à une pareille théorie. D'ailleurs, nous ne faisons pas ici d'études physiologiques ; nous demandons seulement à l'agriculture les observations directes pouvant nous offrir un point d'appui pour élucider notre question. A ce point de vue, nous devons encore enregistrer un essai important de Schultz[1] à Lupitz, qui semble démontrer que l'apport d'un engrais minéral n'est nullement nécessaire pour le développement normal du lupin ; je veux parler de ses *prés à lupin*. Dans un champ qui auparavant ne fournissait qu'un maigre pâturage aux moutons, qui a été marné et fumé avec de la potasse et de l'acide phosphorique sans jamais recevoir aucun engrais azoté, on a cultivé et récolté uniquement du lupin sans interruption. D'après le premier rapport publié à ce sujet par Schultz, il a obtenu quinze bonnes récoltes consécutives dans un espace de 5-6 années.

On a objecté avec raison à ces observations qu'elles ne fournissent pas une preuve rigoureuse en faveur de la théorie d'après laquelle certaines plantes élaborent de l'azote atmosphérique libre et ne réclament aucun apport d'azote dans le sol. Ce point de vue a été particulièrement soutenu par Drechsler qui, en revanche, admet comme un fait démontré qu'une quantité, à la vérité insignifiante, d'azote atmosphérique libre est rendue accessible aux plantes et que l'ammoniaque de l'air en fournit aussi très peu. Il conclut donc que les prés à lupin de Lupitz consomment uniquement l'azote accumulé dans le sol et que les rendements devront nécessairement rétrograder dans la suite. Il cherche à expliquer les résultats favorables obtenus ici pendant un certain temps par le fait que le lupin, grâce à ses racines profondes, puise de l'azote même dans le sous-sol et qu'il le met ensuite à la disposition des céréales suivantes sous forme de résidus dans les couches supérieures du sol ; en outre, les racines de ces graminées peuvent alors pénétrer dans les canaux creusés par la végétation antérieure, qui sont, pour ainsi dire, tapissés de principes nutritifs.

Il s'entend de soi que cette question peut seulement être décidée

---

1. *Das Wirthschaftssystem in Lupitz. Journal für Landwirthsch.*, 1883.

par l'analyse du sol des prés à lupin de Lupitz. Si nous savions seulement quelle a été au début de ces cultures sa teneur en azote, on reconnaîtrait facilement, en l'analysant maintenant, quel changement cette teneur a subi dans l'intervalle. Mais nous ne possédons aucune analyse de ce genre faite dans le début. Nous pouvons donc seulement comparer le sol de Lupitz à celui des terrains voisins, où il se trouve encore à l'état primitif, et faire plus tard des analyses répétées du sol des prés de Lupitz où cette culture se continue actuellement. Schultz a déjà entrepris de pareils dosages d'azote, qui ont été exécutés par Märcker en l'année 1881.

D'après ces dosages, un champ qui n'avait été ni fumé ni labouré pendant quinze ans, mais qui avait servi de lieu de pâturage aux moutons, contenait les taux d'azote suivants :

	P. 100.
Sol arable jusqu'à 6 pouces de profondeur	0,027 Az
Sous-sol, à la profondeur de 6-24 pouces.	0,021 Az

Un champ, fumé depuis quinze années avec de la litière de bruyère et cultivé en seigle et en pommes de terre, a donné :

	P. 100.
Sol arable jusqu'à 6 pouces de profondeur	0,034 Az
Sous-sol à la profondeur de 6-24 pouces	0,011 Az

Mais les prés à lupin possédaient dans :

	P. 100.
Sol arable jusqu'à 8 pouces de profondeur.	0,087 Az
Sous-sol à la profondeur de 6-24 pouces	0,025 Az
— — 24-36 —	0,0068 Az

On peut se servir de ces dosages pour élucider la manière dont se comporte l'azote dans les prés à lupin après l'écoulement d'une certaine période de culture. J'ai donc fait faire en 1886 plusieurs analyses des cultures de Lupitz. D'abord j'ai également analysé un sol, qui a encore sa constitution primitive et est recouvert d'une pauvre végétation d'arénacées, de mousse et de lichens. On a commencé par enlever, jusqu'à la profondeur où la bêche pénètre, une quantité de ce sol avec la végétation qui s'y trouvait, parce que l'azote contenu dans cette dernière doit également être porté au compte

du sol. C'était le même sol sablonneux brun clair, contenant un peu d'argile, comme celui des prés à lupin. La teneur en azote de ce sol dépouillé des plantes et des racines était de 0,0754 p. 100. On a dosé à part l'azote de la substance végétale. On a trouvé

Dans 2 356^{gr},00 de sol	1^{gr},7776 Az
Dans 24^{gr},65 de substance végétale qui y avait été contenue .	0 ,1895 Az
Total	1^{gr},9671 Az

Ainsi ce sol, en y ajoutant la végétation spontanée qu'il avait produite, contenait 0,0826 p. 100 d'azote. J'ai également déterminé la teneur de ce sol en acide nitrique, qui est compris dans les 0,0754 p. 100 Az, et j'ai seulement trouvé 0,00005 p. 100, correspondant à 0,00001 p. 100 Az.

Dans les prés à lupin on était arrivé dans l'automne de 1886 à la vingtième récolte, qui avait été obtenue sans rotation et sans engrais azoté. Sur une surface d'un mètre carré j'ai recueilli tous les lupins, en arrachant simplement les plants avec leurs pivots, et j'ai obtenu 518^{gr},8 de substance sèche séchée à 50°. Celle-ci contenait 2,9198 p. 100 d'azote ou 15^{gr},1479. D'après cela on trouve encore dans cette vingtième récolte de lupins une production d'azote de 148^{kg},37 à l'hectare ou de 74 livres à l'arpent. Si nous admettons que ce sol a déjà donné vingt fois cette quantité d'azote, sans qu'il ait reçu d'engrais azoté, il faudrait qu'au début de la culture il eût déjà contenu au moins en nombre rond 3,000 kilogr. d'azote à l'hectare, dans le cas où il ne lui serait arrivé aucun apport de l'extérieur. Schultz a d'ailleurs fait ressortir très justement que les prés à lupin sont situés sur une hauteur, qui se trouve à 20^{m} au-dessus du fond de la vallée, de sorte qu'il ne peut être question d'aucune nappe d'eau souterraine et d'aucun apport des terres environnantes. Le résultat du nouveau dosage d'azote devait être d'autant plus intéressant. J'ai pris à la profondeur où la bêche pénètre un échantillon du sol au même endroit où Märcker a pris celui qui a servi à la première analyse, et où les lupins avaient déjà été récoltés. Après que cet échantillon eut été débarrassé des pierres ayant plus d'un millimètre, ainsi que des chaumes, des racines et des autres résidus des lupins, il a donné une teneur en azote de 0,0536 p. 100. Si l'on

ajoute l'azote resté dans les détritus végétaux qui ont été éloignés, on obtient les nombres suivants :

3576 grammes de sol contiennent.	1gr,9167 Az
8gr,55 de détritus végétaux qui se trouvaient dans le sol contiennent.	0 ,1657 Az
Total	2gr,0824 Az

En conséquence la teneur en azote du sol des prés à lupin, après l'enlèvement de la dernière récolte, est de 0,0580 p. 100, si l'on tient compte des résidus végétaux. Si nous voulons attribuer au sol l'azote fourni par la dernière récolte, nous aurons une teneur de 0,0750 p. 100. J'ai, en outre, fait doser l'azote du sous-sol des prés à lupin, prélevé à une profondeur de 50-60 centimètres, et j'ai constaté une teneur de 0,0135 p. 100. Ces chiffres concordent avec ceux qui ont été cités plus haut et qui ont été obtenus par Märcker en 1881, à tel point qu'on a le droit de conclure que la teneur en azote du sol des prés à lupin n'a subi aucune diminution dans les dernières cinq années, malgré les récoltes qui ont été enlevées. J'ai également dosé l'acide nitrique de la couche supérieure et du sous-sol des prés à lupin ; la teneur était égale dans les deux, à savoir : 0,0002 p. 100, correspondant à 0,00004 p. 100 Az ; par conséquent quatre fois plus forte que dans le sol inculte, mais relativement faible.

Dans le cas où nous admettrions pour le sol des prés à lupin au début de l'essai la teneur en azote que j'ai constatée dans le sol inculte de Lupitz — ce qui à la vérité n'est pas absolument dans notre droit — on observerait que d'une manière générale le premier n'a subi aucune perte notable en azote malgré les 20 récoltes de lupin. Si, au contraire, nous prenons comme base le chiffre de 0,027 p. 100 Az trouvé par Märcker pour un autre champ du sol inculte de Lupitz, il se serait même produit un accroissement en azote dans le sol des prés à lupin.

Des autres expériences faites dans la grande culture, nous devons citer ici celles de Gilbert[1] relatives à l'acide nitrique contenu dans le sol. Elles montrent que le sol, où l'on cultive des plantes annuelles, qui est par conséquent souvent ameubli et temporairement en

1. *Journ. of the Roy. Agric. Soc. of England,* vol. XVII, p. 241 et 311 ; vol. XVIII, 1882, p. 1.

jachère, perd de l'azote et particulièrement de l'acide nitrique jusqu'à une profondeur considérable; ce qui s'explique par le lavage de l'acide nitrique formé, ainsi que par sa consommation par les plantes. Les légumineuses aux racines profondes ont laissé moins d'acide nitrique dans le sol que les graminées aux racines traçantes et d'autres végétaux. Mais dans quelques-uns des essais, la couche supérieure s'était enrichie et non appauvrie par la récolte. Gilbert est donc enclin à admettre que les plantes, à enracinement profond, sont aptes à absorber dans le sous-sol des combinaisons azotées que les plantes, à enracinement superficiel, ne peuvent pas atteindre, et que ces combinaisons pourraient bien être une source d'aliments grâce à l'intervention de champignons. Il pense de même que l'azote libre atmosphérique est peut-être aussi une source de nutrition, quoique le fait ne soit pas démontré.

Dehérain [1] et Joulie [2] ont également institué des recherches analogues sur le sol arable. Ils constatent aussi que là où l'on cultive des plantes annuelles et où le sol est temporairement en jachère, l'azote subit une diminution qu'ils attribuent particulièrement à l'entraînement par l'eau de l'acide nitrique formé, mais ils trouvent qu'en cultivant beaucoup d'années de suite des plantes fourragères, l'azote reste stationnaire dans le sol; ce qui indique encore l'utilisation de l'azote atmosphérique. Dehérain a également insisté sur ce fait que la nappe d'eau souterraine peut aussi devenir une source d'azote pour les plantes à enracinement profond. Un sol appauvri d'abord par la culture de betteraves à sucre et de maïs a montré, après avoir été converti en prairies, un accroissement en azote dans la couche supérieure, et Dehérain attribue cet accroissement à ce qu'il se trouvait là une nappe d'eau souterraine contenant du nitrate, dans laquelle les racines pénétraient. D'ailleurs, il a été démontré par des essais directs, et il s'entend de soi que les plantes à enracinement profond, qui reçoivent artificiellement un engrais riche en nitrate dans leur sous-sol, utilisent en fait cet azote, se déve-

1. *Ann. agron.*, t. XVIII, 3e fasc., 1882, p. 321.

2. *Revue des industries chimiques et agricoles,* t. V, n° 52, 1881, p. 350.

3. *Sur l'enrichissement en azote d'un sol maintenu en prairie. Comptes rendus,* 1885, p. 1273.

loppent mieux et par conséquent amènent de l'azote vers la surface. La seule et unique question à examiner ici, c'est de savoir si l'hypothèse de l'existence d'une certaine provision d'azote dans le sous-sol suffit pour expliquer l'immutabilité reconnue de la teneur en azote de la couche supérieure du sol pendant une longue série d'années, malgré l'enlèvement régulier de récoltes riches en azote et sans qu'il y ait apport de ce principe.

Nous devons également citer ici les essais de Berthelot et André[1] en tant que ce sont des expériences agricoles en grand, quoiqu'ils aient uniquement rapport au bilan de l'acide nitrique. Ces expérimentateurs ont cultivé certaines plantes, particulièrement riches en nitre, et ont calculé, d'après les quantités d'acide nitrique contenues dans ces plantes à l'état adulte, qu'à l'hectare *Borago officinalis* absorbe 120 kilogr., *Amaranthus caudatus* 140 kilogr., *Amaranthus giganteus* 320 kilogr. de nitre, tandis que le nitre contenu dans le sol en question est seulement évalué à 54 kilogr. par hectare. Sans doute cet essai présente le défaut que pour le dosage du nitre on a seulement prélevé du sol jusqu'à une profondeur de $0^{m},325$; il est certain en effet que le sous-sol, bien qu'il fût rocheux et que pour cette raison on l'ait négligé, offrait cependant aux racines qui y pénétraient une certaine dose de nitrates ; en outre, on n'a pas tenu compte du fait que l'ammoniaque et les résidus organiques des végétaux forment constamment dans le sol de nouvelles quantités d'acide nitrique. Nous avons déjà vu plus haut combien Berthelot a eu tort de conclure de cet essai que les plantes elles-mêmes constituaient de l'acide nitrique avec l'ammoniaque et l'azote libre. Néanmoins, ces différences dans les chiffres sont assez frappantes pour faire penser au moins à la possibilité d'une conversion d'azote libre en azote combiné, peut être dans l'intérieur du sol lui-même, quoique cette conversion ne soit nullement démontrée par ces essais.

Ce seraient donc les essais agricoles de Lawes, Gilbert et Pugh, ainsi que ceux de Schultz-Lupitz, joints aux analyses dont ils ont été accompagnés, qui prouveraient sinon d'une manière complète, du moins avec une grande vraisemblance, qu'il existe une autre voie

---

1. *Comptes rendus*, t. XCVIII, n° 25 et t. XCIX, n°s 8-17.

par laquelle l'azote atmosphérique élémentaire est rendu utilisable sur une plus grande échelle que par la foudre.

IV. — Recherches sur la question de savoir si les plantes cultivées dans le sol fixent de l'azote atmosphérique.

Nous avons vu précédemment que l'opinion basée sur les travaux de Boussingault et admise jusque dans les temps récents dans la physiologie végétale, d'après laquelle la plante vivante n'est pas apte à assimiler l'azote libre et l'enrichissement éventuel en azote doit être attribué à la fixation de ce principe par le sol, ne concorde pas d'une manière satisfaisante avec les expériences faites dans l'agriculture. D'après ces expériences en effet, c'est précisément la culture des plantes et particulièrement de certaines espèces déterminées, qui produit un gain en azote combiné. Si l'on voulait s'en tenir aux résultats obtenus dans la culture en grand, on pourrait peut-être, comme cela a eu lieu en réalité, reconnaître encore la théorie de Boussingault comme vraie, en admettant qu'il s'agit ici uniquement d'un enrichissement apparent en azote, parce que certaines plantes possèdent un système radiculaire tellement développé, qu'elles sont plus aptes que d'autres à recueillir les moindres traces de composés azotés dans le sol, et à les utiliser pour la production de la substance végétale, quoique les chiffres obtenus dans les analyses faites à l'occasion de l'essai sur les prés à lupin de Lupitz démentent cette explication. Mais les essais de végétation en petit, qui ont été institués dans les temps récents, dont quelques-uns ont déjà été mentionnés plus haut, et au sujet desquels nous possédons un compte exact de l'azote contenu dans le sol avant et après la végétation, démontrent encore d'une façon plus nette que la plante poussant dans le sol enrichit ce dernier en azote.

Cependant il faut accorder d'autre part qu'au regard d'une critique sévère, on a tiré des essais de Boussingault des conclusions exagérées : ils enseignent tout au plus que les plantes à l'état de végétation, où elles peuvent être amenées dans des solutions nutritives aqueuses ou dans des sols calcinés ou bien composés artificiellement, ne peuvent pas, dans des atmosphères confinées par des cloches ou des cages en verre, fixer une quantité notable d'azote.

En d'autres termes, ils nous apprennent que l'aptitude à fixer de l'azote libre n'est pas nécessairement inhérente à la vie végétale. Mais cette aptitude pourrait bien se développer dans certains états de la plante qui, pour se produire, exigent des conditions déterminées. Dans la situation où se trouvent les plantes dans les essais de Boussingault, elles n'atteignent pas le même développement normal que si elles poussent dans un sol naturel et en plein air. On n'aurait donc pas le droit, sans plus ample examen, de dire que la plante ne possède en aucun cas une aptitude qu'en fait elle ne possède pas dans un cas déterminé. A proprement parler, une pareille idée se rencontre seulement chez Atwater, qui cherche à expliquer la contradiction entre l'hypothèse de Boussingault et les expériences de l'agriculture. Quand des chimistes agricoles ont dit récemment, sans autre explication, que les légumineuses absorbent par leurs feuilles l'azote libre de l'air pour s'en nourrir, de pareilles assertions n'ont rien de scientifique, car elles ne tiennent pas compte des résultats des recherches antérieures et regardent comme inutiles de nouvelles recherches sur des questions qui ne sont pas encore élucidées.

Si la science doit décider le point en litige, il faut d'abord résoudre la question de savoir si en réalité les plantes cultivées dans le sol produisent un enrichissement en azote dans le sens de l'agriculture pratique.

Mes essais de végétation, qui ont eu pour but la solution de cette question, ont déjà été commencés pendant l'été de 1884 et ont été depuis répétés tous les ans avec les variations exigées par certaines questions spéciales. En général, ces essais ont été institués d'après la méthode indiquée plus haut à propos de mes expériences sur la perte de l'azote dans le sol ; ils ont été faits dans le même temps et dans le même endroit et ont servi de recherches parallèles pour reconnaître la différence occasionnée par la présence de la végétation. Je répète donc seulement ce qui suit. Les essais ont été exécutés à l'air libre, par conséquent dans les conditions extérieures les plus favorables à la plante. Pour éviter les souillures des insectes, etc., auxquelles les végétaux sont exposés pendant des essais d'une longue durée à l'air libre, les vases contenant des plantes ont été re-

couverts par de hautes cages en fil de fer zingué, qui offraient aux plantes un espace suffisant pour leur développement, laissaient pénétrer assez d'air et de lumière, et sous lesquelles en fait les plantes ont très bien poussé. Ou bien, pour empêcher l'accès de l'eau de pluie, les vases contenant des végétaux et ceux dépourvus de végétation qui devaient servir aux essais parallèles, ont été placés sous le grand toit en verre décrit plus haut, dont les quatre côtés étaient fermés par des filets, et les plantes étaient arrosées uniquement avec de l'eau distillée, qui ne contenait aucune trace de nitrate. Les vases en verre étaient recouverts à l'extérieur de papier noir ou d'une étoffe noire pour écarter la lumière de la terre qui s'y trouvait. La forme des vases à employer était réglée d'après les questions spéciales qui devaient être étudiées. Pour que toutes les plantes puissent se développer dans les conditions les plus naturelles possibles, j'ai donné à chacune le volume de terre correspondant à celui qu'occupe naturellement son système radiculaire ; ainsi des vases profonds étaient indiqués d'avance pour le lupin jaune dont les racines pénètrent à une si grande profondeur et qui, jouissant de la réputation d'enrichir particulièrement le sol en azote, devaient nécessairement être compris dans mes recherches. Mais pour obtenir une image tout à fait fidèle de la vraie extension de tout le système radiculaire d'une plante dans le sol, l'extraction d'un végétal ayant poussé en plein champ, même quand elle se fait avec le plus grand soin, est un mauvais moyen qui occasionne toute sorte d'illusions. Je me sers dans ces démonstrations de grandes caisses carrées, d'un mètre de hauteur, dont la paroi antérieure consiste en une plaque en verre, qui permet d'examiner à toutes les profondeurs les racines qui se développent dans la terre contenue dans la caisse. Pour reconnaître exactement la répartition des racines dans la section longitudinale idéale traversant l'axe de la plante, la plaque en verre n'est pas placée verticalement, mais un peu obliquement, de sorte que le fond de la caisse est un peu plus étroit que la partie supérieure. Les semences sont ensuite enfoncées dans le sol immédiatement derrière le vitrage. Comme le pivot, en vertu de son géotropisme, cherche toujours à avancer dans une direction verticale vers le bas, il atteint bientôt la plaque en verre,

et continue de pousser vers le bas le long d'elle, de sorte qu'on peut l'apercevoir dans toute son étendue, et voir également la situation et la direction de toutes les racines latérales qui en sortent. De cette façon, il devient possible de poursuivre le développement progressif des racines depuis la germination jusqu'à l'état adulte de la plante. Il faut seulement recouvrir la paroi en verre d'un rideau noir épais, que l'on soulève uniquement pendant le court intervalle nécessaire aux observations à l'époque où les racines poussent, car autrement l'héliotropisme négatif écarterait ces dernières de la paroi transparente. La reproduction, que l'on trouve dans la figure 8, de la racine d'un lupin jaune à trois âges différents de la vie, est faite d'après la photographie d'une caisse remplie de sable mouvant de la Marche exempt de tout humus et recouvert d'une couche supérieure de 12 centimètres de profondeur d'un sable humique plus foncé, présentant par conséquent les conditions ordinaires d'un sol arable. On voit là comment le pivot pénètre, sans s'arrêter, dans la profondeur, tandis que les racines latérales sont relativement courtes. Pour avoir une image aussi nette que possible du développement des racines du lupin, j'ai employé dans une série d'essais des vases cylindriques d'une hauteur de 80 centimètres ayant un diamètre de 17^{cm},5 ou de 11 centimètres ; les cylindres étroits étaient en verre, les larges, en argile cuite vernissée intérieurement afin que l'eau n'enlève rien de l'intérieur pendant la durée de l'essai. Bien que ces cylindres étroits et profonds correspondent à la répartition naturelle des racines du lupin, la circulation de l'air y est cependant plus difficile que dans un champ ordinaire, parce qu'il pénètre moins facilement au fond d'un cylindre que dans une couche du sol située à la même profondeur. Comme cette différence pourrait peut-être exercer une influence sur les phénomènes qu'il s'agit d'étudier ici, j'ai institué aussi des essais de végétation analogues dans des cuvettes en verre larges et peu profondes, ayant un diamètre de 40 centimètres et une profondeur de 15 centimètres. On les a remplies de terre jusqu'à une hauteur de 8 centimètres et on y a semé une grande quantité de semences. L'aération du sol était naturellement beaucoup meilleure, et le système radiculaire était forcé de s'élargir d'une façon contraire à sa nature. Il n'était cependant pas présumable que

cet élargissement gênât beaucoup l'activité des racines, et la suite nous a appris que le lupin à enracinement généralement si profond se développait très bien dans cette mince couche de terre.

Les tableaux suivants contiennent les résultats de ces essais. Dès le début on avait réservé, pour le dosage de l'azote à l'état initial, un échantillon du sol d'expérience qui avait été débarrassé par le tamisage des éléments les plus grossiers et mélangé d'une façon homogène. A la récolte, on a recueilli soigneusement toute la substance végétale qui avait été formée ; en tamisant le sol on a pu recueillir également les résidus ténus des racines et les détritus végétaux, qui étaient restés dans le sol, et on les a réunis à la masse végétale totale, dont on a exactement déterminé le poids et la teneur en azote. On a dosé ensuite d'autre part l'azote contenu dans le sol ainsi débarrassé de tous les détritus végétaux. Plus haut, à propos des recherches correspondantes sur le sol dépourvu de végétation, on a déjà dit le nécessaire sur la manière dont les analyses ont été exécutées. Je commence par les essais où j'ai employé un sol sablonneux humique, prélevé dans un jardin identique à celui qui a servi aux essais précédents sans végétation. Dans la plupart des cas on avait semé des lupins, dans un seul on y avait joint du trèfle incarnat ; on avait laissé à dessein pousser en même temps les mauvaises herbes qui provenaient des petites semences contenues accidentellement dans le sol. Je place d'abord les essais où l'on s'est servi des cylindres profonds (I) ; viennent ensuite ceux avec les larges cuvettes (II) et enfin ceux avec du sable mouvant de la Marche, d'une couleur tout à fait claire, et contenant à peine des traces d'humus (III). Ce dernier a été choisi parce qu'il convient précisément au lupin et parce que les succès de Lupitz ont été obtenus sur un sol léger analogue. Pour que les conditions fussent aussi le plus égales possibles sous ce dernier rapport, j'ai mêlé au sable des cailloux de différente grosseur, ayant quelques millimètres jusqu'à 2 centimètres de diamètre, qu'on avait d'abord lavés dans de l'eau distillée. Tous les vases pourvus de végétation contenaient 700 centimètres cubes de ce sol siliceux ; comme engrais on a donné à chacun d'eux $0^{gr},02$ de kaïnite et $0^{gr},04$ de scories Thomas-Gilchrist. Comme on devait en même temps vérifier l'effet du marnage, quelques-unes des larges

cuvettes en verre ont reçu chacune 120 gr., les cylindres en verre chacun 24 gr. d'argile marneuse jaune, laquelle est employée à Lupitz, tandis que dans d'autres vases on n'a pas ajouté de marne au sable. Le sol sablonneux sans végétation, qui a servi aux essais parallèles institués à la même époque et dans le même endroit, a reçu la même préparation et la même fumure. On a dosé l'azote de toutes les semences, qui ont été employées dans ces essais, et ce dosage a été utilisé comme base du calcul de l'azote introduit. Les graines analysées aussi bien que celles qui ont été semées ont été choisies d'une grosseur à peu près égale. Les substances végétales et les sols ont été dosés à blanc, après avoir été séchés à 50°, parce qu'en séchant à 100°, comme on le fait généralement, on aurait à craindre des déperditions en combinaisons organiques et ammoniacales. Afin de pouvoir comparer commodément le résultat final consigné dans la dernière colonne des tableaux, qui donne l'augmentation ou la diminution de l'azote total, avec le résultat obtenu pour le même sol dans l'essai parallèle sans végétation, ce dernier a été ajouté entre parenthèses. Chaque essai a duré jusqu'à la fin de la végétation des plantes employées et s'est terminé en même temps que celle-ci, parce qu'en laissant plus longtemps les plantes mortes sur le sol humide, leur substance aurait pu se décomposer. Pour examiner de près quelle influence les plantes autres que les légumineuses exercent sur la teneur et la production du sol en azote, et pour savoir si réellement il y a sous ce rapport une différence essentielle entre les unes et les autres, j'ai entrepris dans ma dernière série d'expériences, avec du sable mouvant de la Marche, des essais de végétation non seulement avec du lupin mais encore avec du colza et de l'avoine, en employant de larges cuvettes en verre et en ayant donné au sol la même préparation.

Le dosage de l'azote contenu dans les semences employées dans les essais a donné les chiffres suivants :

SEMENCES SÉCHÉES A 50°.	TENEUR en azote.
1 semence de *Lupinus luteus*	0gr,0090
20 semences de *Trifolium incarnatum*	0 ,0033
40 semences de *Brassica Napus*	0 ,0033
20 graines d'*Avena sativa*	0 ,0142

La conclusion principale, qui ressort de tous les essais suivants sans exception, c'est que : *la présence d'une végétation tend à produire un accroissement de l'azote primitivement contenu dans le sol et dans les semences.* Car là où le sol abandonné à lui-même accroît sa teneur en azote lentement et faiblement, cet accroissement devient plus rapide et plus fort par l'action des plantes, et là où le sol abandonné à lui-même subit une diminution progressive en azote, cette déperdition est considérablement amoindrie par la présence de plantes enracinées dans ce sol ; quelquefois même elle se change en un gain.

Ces essais confirment donc pleinement l'opinion de ceux qui ont soutenu que la culture en grand enrichit le sol en azote, et ils démontrent que les objections soulevées contre cette opinion sont mal fondées.

TABLEAUX.

I. — Essais dans des vases cylindriques profonds avec du sable contenant de l'humus. 1885.

	DURÉE de l'essai.	QUANTITÉ de sol employé séché à l'air.	PROPORTION centésimale de l'azote contenu dans le sol.		PROPORTION centésimale de l'azote nitrique du sol.		PLANTES RÉCOLTÉES.		AZOTE TOTAL du sol, des semences et des plantes récoltées.		GAIN OU PERTE en azote en p. 100 de l'azote existant à l'origine.
			Avant l'essai.	Après l'essai.	Avant l'essai.	Après l'essai.	Quantité et état.	Teneur absolue en azote.	Avant l'essai.	Après l'essai.	
	Jours.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Gr.	Gr.	
1. Cylindre en terre cuite, 80 centim. de hauteur, 17cm,5 de diamètre avec 3 graines de lupin.	132	21,450	0,0957	0,1065	0,00037	0,000072	83gr,7, plants de lupin avec des fruits mûrissant en partie.	0,8208	20,5547	23,6758	+ 15.2 (sans végétation — 5.1).
2. Cylindre en verre, 80 centim. de hauteur, 11 centim. de diamètre, avec 1 graine de lupin.	174	9,435	0,0957	0,0992	0,00037	0,000233	22gr,5, plant de lupin, haut de 95 centim., avec 2 fruits ayant des graines mi-mûres.	0,1138	9,0373	9,4781	+ 4.87 (sans végétation — 12.5).
3. Cylindre en verre, 80 centim. de hauteur, 11 centim. de diamètre, avec 1 graine de lupin et 20 graines de trèfle incarnat.	107	8,650	0,0957	0,0851	0,00037	0,000065	22 gr., plant de lupin, haut de 26 centim., mort avant la floraison, 7 trèfles incarnats, 1 Galinsoga, haute de 65 centim., avec fruit.	0,2295	8,29039	7,6169	— 8.08 (sans végétation — 72.5).
4. Cylindre en verre, 80 centim. de hauteur, 11 centim. de diamètre, avec 2 graines de lupin.	174	9,180	0,0957	0,0893	0,00037	0,00024	2gr,6, plant de lupin, haut de 12 centim., ne fleurissant pas encore.	0,0274	8,8032	8,2251	— 6.56 (sans végétation — 12.5).

II. — Essais dans de larges cuvettes avec du sable contenant de l'humus. 1886.

	DURÉE de l'essai.	QUANTITÉ de sol employé séché à l'air.	PROPORTION centésimale de l'azote contenu dans le sol.		PLANTES RÉCOLTÉES.		AZOTE TOTAL du sol, des semences et des plantes récoltées.		PERTE en azote en p. 100 de l'azote existant à l'origine.
			Avant l'essai.	Après l'essai.	Quantité et état.	Teneur absolue en azote.	Avant l'essai.	Après l'essai.	
	Jours					Gr.			
Semé : 37 graines de lupin.	180	3950	0,0850	0,0792	84gr,8, 11 plantes de lupin dont l'une avec des gousses à moitié mûres ; 1 *Antirhinum majus*, haut de 40 centim., avec des capsules mûres ; une jeune molène avec une rosette de feuilles.	0,56145	3,69161	3,69103	— 0,0157 (sans végétation — 4,94).

Mais alors se présente immédiatement cette question ; d'où est venu cet excédent d'azote ? Il s'entend de soi qu'il pouvait seulement venir de l'atmosphère. Mais est-ce l'ammoniaque ou l'azote libre de l'atmosphère qui l'a fourni ? Voilà ce qu'on ne peut décider sans plus ample examen. L'hypothèse qu'il dérive de l'ammoniaque de l'air est très invraisemblable de prime abord, lorsque nous réfléchissons que dans l'air libre nous trouvons seulement des traces minimes d'ammoniaque. (En dirigeant longtemps un courant d'air sur de l'acide chlorhydrique, je n'ai pas pu recueillir dans ce dernier des traces bien marquées d'ammoniaque.) Les quantités d'ammoniaque contenues dans l'air sont donc loin de suffire pour expliquer les accroissements considérables en azote que nous avons trouvés ici. Mais dussent-elles suffire, cela n'expliquerait pas encore le fait en question. Par exemple, la production continue de composés azotés dans les essais agricoles de Schultz-Lupitz, qui représente en grand la même action chimique que nos essais en petit, ne devient explicable, après qu'il a été démontré par ce qui précède que cet enrichissement a sa source dans l'air, que dans l'hypothèse de la conversion de l'azote libre en azote combiné. En effet, l'ammoniaque

III. — Essais avec un sol sablonneux pur. 1887.

	DURÉE de la végétation.	QUANTITÉ de sol employé, en grammes.			PROPORTION centésimale de l'azote contenu dans le sol.			TENEUR DU SOL en acide nitrique.					PLANTES RÉCOLTÉES.		AZOTE TOTAL dans le sol, les semences, ou les plantes récoltées.		GAIN en azote en p. 100 de l'azote existant à l'origine.
								Avant l'essai.			Après l'essai.						
								En p. 100.									
		Sable.	Marne.	Total.	Sable.	Marne.	Après l'essai dans le sol mélangé.	Sable.	Marne.	Quantité totale du mélange.	En p. 100.	Quantité totale.	Quantité et état.	Teneur absolue en azote.	Avant l'essai.	Après l'essai.	
	Jours													Gr.	Gr.	Gr.	
1. Cylindre en verre, hauteur 80 cm, diamètre 11 cm, avec 3 graines de lupin et avec marne.	134	7851	24	7875	0,00340	0,01149	0,00405	0,00005	0,0001	0,0039	0,00005	0,0039	12gr,18, 3 plants de lupin, avec 7 fruits mûrs et 16 graines.	0,1981	0,2967	0,5170	+ 74.250
2. Cylindre en verre, hauteur 80 cm, diamètre 11 cm, avec 3 graines de lupin et avec marne.	134	7566	24	7590	0,00340	0,01149	0,00440	0,00005	0,0001	0,0038	0,00005	0,0038	11gr,7, 3 plants de lupin avec 8 fruits mûrs et 20 graines ; un petit plan d'*Erysinum* avec graines.	0,1821	0,2870	0,5160	+ 79.791
3. Cuvette en verre, diamètre 40 cm, avec 20 graines de lupin, sans marne.	134	9240	»	9240	0,00340	»	0,00558	0,00005	»	0,0046	0,000025	0,0023	49gr,4, 18 plants de lupin avec 27 fruits mûrs et 57 graines.	0,7378	0,4941	1,2531	+ 153.673 (sans végétation +25.27).
4. Cuvette en verre, diamètre 40 cm, avec 20 graines de lupin et avec marne	134	11030	120	11150	0,00340	0,01149	0,00618	0,00005	0,0001	0,0057	0,000025	0,0028	17gr,67, 20 plants de lupin avec 27 fruits mûrs et 55 graines.	0,6418	0,5688	1,3309	+ 133.984 (sans végétation +36.09).
5. Cuvette en verre, diamètre 40 cm, avec 20 graines de colza et avec marne	134	8430	120	8550	0,00340	0,01149	0,00471	0,00005	0,0001	0,0043	0,00005	0,0043	2gr,13, 37 plantules de colza, ayant chacun un ou peu de fruits mûrs.	0,0215	0,3037	0,4212	+ 39.674 (sans végétation +36.09).
6. Cuvette en verre, avec 20 graines d'avoine et avec marne	134	7655	120	7775	0,00340	0,01149	0,00465	0,00005	0,0001	0,0039	0,00005	0,0039	8gr,26, 18 plants d'avoine dont les panicules possèdent chacune en moy. 3 épis, ayant ensemble 81 grains mûrs.	0,0368	0,2382	0,3983	+ 38.203 (sans végétation +36.09).

de l'air est seulement formée par les produits végétaux eux-mêmes ou par les produits de l'exploitation qui en dérivent ; elles ne pourraient donc pas expliquer un accroissement de l'azote dans une exploitation qui ne s'en procure pas par voie d'achat. Cependant, je ne me suis pas contenté de ces raisons générales ; comme je l'ai déjà indiqué dans une communication antérieure [1] j'ai démontré expérimentalement que cet accroissement ne provient pas de l'ammoniaque mais de l'azote atmosphérique. J'ai fait des essais de végétation dans des espaces d'air confinés, dans lesquels pouvait seulement pénétrer de l'air exempt d'ammoniaque. Sans doute la plupart des plantes ne supportent pas bien une atmosphère aussi humide que celle qui se forme inévitablement sous les cloches en verre, même spacieuses ; elles s'y développent sous une forme plus ou moins étiolée, restent débiles et périssent facilement ; d'ailleurs cet effet de l'air saturé de vapeur d'eau est bien connu dans la physiologie végétale. Ce sont particulièrement les lupins qui se sont montrés malvenants dans ces circonstances ; d'autres légumineuses, telles que les haricots et les pois, se comportent de la même manière. J'ai eu plus de succès avec le *Lepidium sativum*. Sous une cloche en verre très spacieuse, fermée par le bas avec du mercure recouvert par une mince couche d'eau, j'ai placé des vases en verre cylindriques, remplis de sol tourbeux jusqu'à une hauteur de 130 centimètres ; dans les uns j'avais semé du *Lepidium*, les autres ne contenaient pas de plantes. La cloche était munie à sa partie supérieure d'une ouverture assez large pour y laisser pénétrer un tube adducteur et un tube abducteur. Tous les jours, au moyen de l'aspirateur, on dirigeait à travers l'appareil une quantité d'air supérieure au volume de la cloche ; cet air, avant d'être introduit, avait été lavé dans de l'acide sulfurique, et débarrassé par conséquent de son ammoniaque. Après que le *Lepidium* fut arrivé à un certain développement, on analysa le sol et les plantes d'après la méthode suivie dans les essais décrits précédemment et exécutés à l'air libre. Le sol dépourvu de végétation indique une déperdition en azote de 9,7 p. 100, celui pourvu de végétation une déperdition de 1,79 p. 100 seulement. Il résulte clairement

1. *Berichte der deutsch. botan. Gesellsch.*, 24 juillet 1886.

de cet essai que l'action chimique produisant un accroissement en azote, ou ici une diminution dans la perte d'azote, diminution exercée par le sol ainsi que par la plante qui s'y trouve enracinée, a lieu en l'absence d'ammoniaque et par conséquent aux dépens de l'azote libre de l'air. Les expériences de Hellriegel, publiées peu de temps après mes essais, et dont nous avons fait mention plus haut, pourraient également être invoquées comme preuve du fait que nous avançons.

Mais les résultats de notre essai nous permettent d'entrer aussi dans quelques détails relatifs à l'influence exercée sur cette action par toute une série de facteurs.

Examinons d'abord comment se comporte l'*acide nitrique?* Dans un sol exposé à l'air et qui ne porte aucune végétation, pourvu qu'on évite tout entraînement par l'eau, cet acide, comme nous l'avons vu plus haut pour le sable humique et comme nous le verrons plus loin pour le sable exempt d'humus, augmente un peu ou reste à peu près stationnaire, même quand l'azote total du sol diminue. En présence d'une végétation, comme le montrent les tableaux I et III, la teneur en acide nitrique reste également stationnaire ou subit seulement un léger accroissement, qui est loin d'atteindre les proportions de l'augmentation produite dans l'azote végétal. Or, comme il est certain que les racines absorbent le nitrate qui leur est offert et peuvent même en absorber les moindres traces, s'il en existe seulement de faibles doses, ce fait pourrait s'expliquer de la manière suivante : par l'intervention de l'azote libre de l'air il se produit constamment dans le sol une nouvelle formation de nitrate, et le nitrate trouvé dans le sol est seulement le résidu qui n'a pas été momentanément élaboré par la plante ; il se pourrait en outre que le sol, comme il est apte à le faire dans de certaines conditions, opérât une décomposition du nitrate avec dégagement d'azote, mais qui est loin d'atteindre les proportions de la fixation d'azote, fortement activée dans ce cas par la présence de plantes vivantes.

La *nature du sol* semble influer en premier lieu sur cette fixation de l'azote en présence de plantes vivantes. Les essais précédents montrent du sable humique à côté de sable pur sans humus, qui est seulement amendé un peu par de la marne, de la kaïnite et de l'acide

phosphorique. Naturellement on peut seulement comparer l'un à l'autre les essais où ces deux sols se sont trouvés dans des vases semblables et où l'on a cultivé la même plante, à savoir des lupins. On peut donc comparer entre eux les essais faits avec des cylindres en verre des tableaux III et I, de même ceux faits avec de larges cuvettes en verre des tableaux III et II. De cette comparaison, il résulterait que l'enrichissement en azote par les lupins est beaucoup plus grand sur le sol sablonneux léger sans humus que sur le sol sablonneux humique. Mais cette conclusion n'est pas absolument admissible, car nous devons observer qu'un autre facteur encore était inégal dans ces sols inégaux, à savoir le développement des plantes. C'est seulement sur le sol sablonneux léger des essais III que le développement des lupins a été normal et est allé jusqu'à la formation de graines mûres. Quand même cette différence dans les développements tiendrait à la différence dans la nature des sols, on ne serait pas nécessairement en droit d'attribuer à cette dernière une influence directe sur la fixation de l'azote, car il se pourrait que ce fût la nature de la végétation qui a été l'unique cause de l'accroissement en azote. Mais des circonstances extérieures, à savoir des influences atmosphériques, ont certainement joué aussi un rôle dans le développement inégal des plantes d'expérience, car les essais ont eu lieu dans des années différentes, et ceux de 1886 ont notamment souffert des intempéries. Néanmoins l'influence directe de la nature du sol sur le phénomène en question résulte déjà de la circonstance que le sol, exposé seul à l'air, subit dans sa teneur en azote des changements inégaux selon la nature du sol. Dans la dernière colonne de nos tableaux nous avons donné les chiffres qui indiquent la teneur en azote des sols d'expérience quand ils sont placés dans les mêmes circonstances et aussi quand ils sont dépourvus de végétation ; on y voit que le sol sablonneux léger sans végétation subit un accroissement en azote, à la vérité beaucoup moins fort que s'il est couvert de lupins, tandis que le cas n'est pas le même pour le sable humique.

Nos essais ne fournissent aucun renseignement définitif sur l'influence de la *profondeur du sol*. Sans doute, nous avons ici des essais avec des cuvettes en verre larges et plates et avec des cylindres étroits

et profonds, qui nous permettent de comparer comment le même sol se comporte quand il forme une couche large et peu épaisse, facilement accessible à l'air, et quand il forme une couche profonde et étroite où l'aération est plus difficile. Mais comme ces différences exercent vraisemblablement une influence sur le développement des racines et de la plante entière, il se pourrait que la différence de la teneur en azote dépendît en première ligne de ce développement. En réalité, dans les essais du tableau III, le développement des lupins a été aussi normal dans les cuvettes larges que dans les cylindres profonds ; cependant la différence des deux essais au point de vue du gain en azote ne résulte pas uniquement de la différence dans la profondeur des sols ; car il ne faut pas oublier que les cuvettes larges, à cause de leur plus grande surface, étaient couvertes de plantes beaucoup plus nombreuses que les cylindres de moindre surface, de sorte qu'à une proportion à peu près égale de sol correspond un nombre très inégal de plantes, et qu'ainsi les plantes, cet autre facteur de l'accroissement de l'azote, interviennent nécessairement. En tout cas, nos essais avec du sol sablonneux humique dépourvu de végétation, dans les cuvettes larges et les cylindres à largeur inégale, ont démontré que la perte en azote subie dans le cours du temps augmente en proportion de la diminution de la surface du sol, c'est-à-dire en proportion de la difficulté de l'aération. Il n'y a donc pas de doute que la profondeur du sol exerce aussi son influence si des plantes sont présentes.

Sur l'influence des *éléments constitutifs du sol* nos essais ne peuvent presque rien dire. Dans la série des essais III, nous avons fait des expériences parallèles avec du sol sablonneux léger marné et non marné, en nous servant de cuvettes larges et en semant des lupins à doses égales. Dans un essai comparatif où toutes les conditions étaient égales d'ailleurs, le même sol dépourvu de végétation a montré un accroissement un peu plus fort en azote, quand il était additionné de marne que sans marne. Cette influence s'exercera donc également là où il y a des plantes. Néanmoins notre essai avec végétation nous montre inversement un accroissement un peu plus faible en azote avec du sol marné. Ce fait peut seulement s'expliquer si nous admettons que la constitution de la végétation a influé dans

un sens inverse sur la destinée de l'azote. En effet, il résulte du tableau III que dans le sable marné les lupins se sont un peu moins bien développés et ont produit un peu moins ; pendant la durée de l'essai on a pu remarquer en effet que les lupins marnés ne poussaient pas aussi rapidement que les autres ; dans la première moitié de leur développement ils étaient d'un vert jaunâtre, tandis que ceux qui poussaient dans le sable pur étaient d'un vert foncé.

Mais l'*état de développement des plantes* exerce une influence prédominante. On peut ici comparer entre eux les essais exécutés avec des lupins. Dans la série des essais III, les lupins ont poussé le mieux sur du sable et ont formé de nombreuses graines mûres, c'est-à-dire sont arrivés jusqu'au terme normal de leur végétation. Aussi nous avons ici les chiffres les plus élevés pour le gain en azote ; car si le sol léger, considéré en lui-même, s'est déjà révélé comme un accumulateur d'azote, l'accroissement produit par les lupins est cependant beaucoup plus considérable dans l'essai III que dans les essais I et II avec du sable humique, où leur développement a été beaucoup plus faible, c'est-à-dire n'est jamais arrivé jusqu'à la formation de gousses mûres et s'est souvent arrêté à la naissance des fleurs. On voit aussi par le tableau II comment l'accroissement en azote augmente avec la quantité de substance végétale produite. Dans ce tableau nous trouvons, n°s 3 et 4, deux essais avec des cylindres étroits et profonds, dans lesquels a crû seulement un plant de lupin, qui est déjà mort avant la floraison, à côté de quelques petites plantules d'incarnat et d'un Galinsoga qui est venu là comme une mauvaise herbe ; cette végétation chétive a seulement pu diminuer la déperdition en azote qui se serait produite sans elle, mais n'a pu amener aucun accroissement en azote. Au contraire, dans le n° 2 où, dans des conditions absolument identiques, une plante de lupin a végété jusqu'à la formation de deux fruits avec des graines à demi-mûres, il s'est produit une augmentation en azote de 4,87 p. 100. Enfin le gros cylindre n° 1, où se trouvent trois plants de lupin d'un poids total bien plus grand et avec des fruits mûrissant en partie, montre un accroissement en azote de 15,2 p. 100. Le tableau II montre que onze plants de lupin et quelques mauvaises herbes, quoique leur poids soit le même que celui des lupins n° 1 de l'essai I, ne

pouvaient produire aucun accroissement positif en azote, parce que tous ces lupins s'étaient si mal développés qu'un d'entre eux seulement avait des gousses à moitié mûres. Si nous comparons dans le tableau III les essais 3 et 4, il ressort nettement qu'une augmentation dans la masse végétale des lupins, accompagnée d'un meilleur développement du fruit, provoque également un accroissement de gain en azote. On a donc encore obtenu ce résultat important que : *le gain en azote fixe augmente avec le degré de développement des plantes et avec la quantité de la substance végétale produite.* Ce fait reconnu également par Atwater pourrait bien nous servir à résoudre la contradiction apparente dans les résultats de Boussingault, car dans les expériences de ce savant, par suite des conditions où étaient faits les essais, les plantes ne pouvaient pas atteindre un bon développement normal.

L'influence de l'*espèce végétale* semble être également considérable. Sous ce rapport, les essais mettent en pleine lumière la supériorité des lupins sur les non-légumineuses. Nous appellerons particulièrement l'attention sur les essais du tableau III, où l'on peut comparer (nos 5 et 6) une culture de colza et d'avoine avec la culture des lupins n° 4. Tandis que chez ces derniers l'azote s'accroît en nombre rond de 134 p. 100, cet accroissement est pour le colza de 40, pour l'avoine de 38 p. 100. D'après cela, le colza et l'avoine ne possèdent qu'une faible aptitude à enrichir l'azote sur ce sol léger, puisque ce sol, considéré seul et dépourvu de végétation, subit déjà une augmentation de 36 p. 100. Il ne faut cependant pas oublier que la production en matière végétale a été bien faible ici, comme il fallait d'ailleurs s'y attendre chez ces plantes sur un sol si léger. En outre, nous trouvons dans les tableaux I et II des essais dans lesquels nous avons constaté la présence de certaines mauvaises herbes, qui ne sont pas des légumineuses, et bien qu'elles se soient développées en partie d'une manière tout à fait normale et qu'elles aient produit des fruits en abondance, elles n'ont cependant pas été capables d'amener un accroissement positif en azote.

L'influence de l'espèce végétale, qui ressort de ces essais, est en parfait accord avec les expériences de l'agriculture pratique, d'après lesquelles ce sont précisément les légumineuses qui ont montré une

grande aptitude à accroître l'azote, tandis que les autres végétaux ne jouissent pas de cette réputation. Cependant nos essais démontrent que sous ce rapport il *n'existe pas entre ces deux catégories de plantes une différence radicale, mais simplement une différence de degré,* qui à la vérité peut être assez considérable. En effet, la quantité d'azote a été également accrue — dans des proportions plus faibles, il est vrai — par le colza et l'avoine, et nous pouvons rappeler ici les résultats obtenus par Joulie (voyez plus haut) qui a également constaté un enrichissement du sol en azote après que de certaines plantes autres que des légumineuses y eurent poussé. L'explication de cette aptitude des plantes à accroître l'azote du sol sera facilitée et simplifiée si l'on sait qu'elle n'est pas spéciale à quelques végétaux, mais qu'elle appartient en général à tous, quoiqu'à des degrés différents. Il serait prématuré de dire ici que toutes les légumineuses doivent être rangées dans la catégorie des végétaux qui contribuent le plus à l'accroissement de l'azote, et qu'elles forment un contraste nettement tranché avec les autres plantes. Car il n'a pas encore été démontré que les premières ont toutes cette propriété à un degré supérieur, et la plupart des dernières n'ont pas encore été examinées à ce point de vue ; il se pourrait donc que dans ces deux catégories il y eût des espèces qui constituent une exception parmi leurs congénères. Si donc les légumineuses ne peuvent pas être considérées comme étant douées d'une aptitude qui leur est absolument particulière, et dont les autres plantes sont complètement privées, on n'a pas non plus le droit de chercher le siège de la propriété d'accroître l'azote dans un organe appartenant aux seules légumineuses, à savoir dans les tubercules des racines, d'après l'hypothèse émise par Hellriegel. En ce cas il serait impossible d'expliquer comment les plantes, qui ne possèdent pas ces tubercules, ont le pouvoir d'accroître l'azote. Mais il est facile de démontrer que ces tubercules ne sont nullement nécessaires pour amener aux légumineuses l'azote dont elles ont besoin. En effet, si l'on parvenait à développer un plant de légumineuse, sans qu'il se formât des tubercules à sa racine, on verrait bien si ceux-ci sont, oui ou non, nécessaires à la vie de la plante. Or, nous pouvons prévenir la formation de ces tubercules, au moins chez certaines légumineuses, en élevant

ces plantes dans du sol stérilisé. Si cette expérience ne réussit généralement pas avec les haricots, les pois, elle réussit certainement avec le lupin par exemple, quand le sol a été maintenu auparavant pendant quelques heures dans l'appareil à stérilisation par la vapeur. Il n'est pas besoin alors d'empêcher l'air d'arriver aux pots à fleurs remplis du sol stérilisé ; le simple traitement susdit du sol suffit pour qu'il ne se forme pas de tubercules aux racines. Ce n'est pas ici le lieu d'expliquer ce fait qui, soit dit en passant, n'est pas une preuve de l'origine infectieuse des tubercules, comme il ressort de la circonstance que la stérilisation du sol n'est pas un obstacle à leur formation chez toutes les légumineuses. Comme il est donc possible d'obtenir par cette méthode des plants de lupins dépourvus de tubercules, j'ai institué les essais suivants : Je me suis servi de pots à fleurs ayant 22 centimètres de hauteur et un diamètre de 17 centimètres à leur surface ; dans chacun d'eux on a semé une graine de lupin. Les pots ont été remplis du sol destiné à l'essai, après que celui-ci eût été d'abord tamisé et soigneusement mélangé. Un certain nombre de pots ont été ensuite exposés pendant 5-6 heures dans l'appareil à stérilisation par la vapeur à la température d'ébullition ; un nombre égal de pots n'a pas été stérilisé. Puis les semailles ont été faites dans tous en même temps. Pendant tout le développement des plantes, les pots se sont trouvés sur la même table sous un toit de verre à l'air libre, et ont tous été arrosés uniquement avec de l'eau distillée, de sorte que les plantes se sont trouvées dans des conditions absolument semblables. Un essai parallèle que j'ai fait en même temps avec du terreau humique a été très instructif. J'y ai employé quatre pots avec du sol stérilisé et autant avec du sol non stérilisé. Le 23 mai on a fait les semailles. Mais déjà peu de temps après la germination il s'est manifesté une différence qui s'est maintenue et a même augmenté pendant toute la période antérieure à la floraison. Dans les pots stérilisés, les feuilles étaient plus larges, plus épaisses, et toute la plante semblait plus luxuriante que dans les pots non stérilisés. D'autre part, dans les premiers pots, la couleur des feuilles était plutôt d'un jaune vert, tandis que dans les seconds elle était plus foncée et d'un vert plus pur ; cette différence ressortait surtout d'une façon nette vers l'épo-

que de la floraison et elle ne s'est pas effacée dans la suite. Les plantes plus vigoureuses des cultures stérilisées ont également commencé à fleurir quelques jours plus tard que celles des cultures non stérilisées. On peut juger de l'aspect des plantes d'après la figure 2, qui est la reproduction d'une photographie prise le 15 août. Nous voyons que les plantes des cultures stérilisées sont un tiers plus hautes que celles des cultures non stérilisées, qu'elles ont chacune environ 25 feuilles, tandis que les autres ont tout au plus chacune 20 feuilles; les fleurs des premières sont aussi plus nombreuses que celles des secondes, et il en a été de même plus tard pour le nombre des fruits. Quand les plantes ont été récoltées, le 10 septembre, les cultures stérilisées, comme les non stérilisées, avaient des gousses mûres, garnies de bonnes graines, mais celles-là en avaient 23, celles-ci 13 seulement. Le poids total de la récolte des plantes des quatre cultures a été pour les sols stérilisés de $55^{gr},0$, pour les non stérilisés de $15^{gr},5$. Un examen soigneux au moment de la récolte a montré que dans les cultures non stérilisées toutes les plantes sans exception étaient pourvues à leurs racines de tubercules dont quelques-uns avaient une certaine grosseur, tandis que les plantes des cultures stérilisées étaient absolument exemptes de tubercules. Des essais analogues répétés ont donné le même résultat. Il est donc prouvé que la possession de tubercules radicaux n'est nullement nécessaire au lupin pour se développer complètement et produire des graines normales, que par conséquent les tubercules ne jouent pas un rôle indispensable dans la nutrition azotée de la plante. La cause pour laquelle les plantes se développent mieux et produisent davantage dans un sol sablonneux humique stérilisé, et aussi, comme j'ai pu m'en convaincre, dans un sol tourbeux traité de la même manière, doit être cherchée dans les transformations que ce traitement fait subir à l'état physicochimique du sol. Mais ce n'est pas ici le lieu d'entrer dans des détails sur cette dernière question.

Si donc, d'après les essais que nous venons de citer, il n'existe aucune raison pour attribuer aux tubercules radicaux des légumineuses un rôle particulier dans l'accroissement de l'azote, qui accompagne toujours la culture de ces plantes, les légumineuses ne possèdent pas, pour fixer l'azote, d'autres organes que n'importe

quelle autre plante, à savoir les organes aériens et la racine ordinaire avec ses poils. Nous voyons ici la confirmation de l'opinion, dont l'exactitude a déjà été prouvée plus haut, d'après laquelle l'aptitude à accroître l'azote est une propriété naturelle de la plante, qui existe à des degrés très différents chez les différentes espèces végétales. Cette différence s'explique probablement par la quantité et la qualité inégales des organes chargés de cette fonction, et peut-être aussi par leur action, plus ou moins énergique selon les espèces. Mais en quoi consiste à proprement parler cette action des plantes vivantes? C'est une question que nous n'avons pas élucidée jusqu'ici et sur laquelle nous reviendrons plus tard.

CHAPITRE V

RECHERCHES SUR LA QUESTION DE SAVOIR SI L'AZOTE EST FIXÉ DANS LE SOL NATUREL SANS L'INTERVENTION DE PLANTES CULTURALES.

Par les essais cités précédemment, il a été démontré que dans les champs cultivés il y a un accroissement en azote produit par le sol et par les plantes qui y poussent; il s'agit maintenant d'étudier cet accroissement de plus près et de rechercher à quels phénomènes spéciaux il faut l'attribuer. La première question est de savoir si et dans quelles proportions le taux de l'azote augmente dans le sol exposé à l'air libre, considéré en lui seul et dépourvu de toute végétation.

En parlant des diverses pertes en azote subies par l'agriculture, nous avons déjà prouvé qu'il se produit dans le sol des décompositions de combinaisons azotées, accompagnées de dégagement d'azote, qui amènent dans le sol, abandonné à lui-même et à l'action de l'air, une déperdition en azote. Cela s'appliquait particulièrement aux sols riches en substance organique, c'est-à-dire aux sols humiques. Mais en cette occasion nous avons reconnu également que nécessairement il devait y avoir aussi fixation d'azote dans le sol. Seulement la quantité d'azote fixée dans les sols riches en humus ne paraissait

pas assez considérable pour contre-balancer la perte subie. Cette compensation est, au contraire, plutôt obtenue dans certains sols exempts d'humus, comme la suite le montrera.

Ce qui a été dit sous ce rapport par les expérimentateurs antérieurs a déjà été examiné plus haut, quand nous avons parlé des mémoires publiés sur cette question. Nous avons vu là que Boussingault et Berthelot notamment ont obtenu un accroissement en azote en laissant des sols argileux et sablonneux longtemps exposés à l'air, et que différents expérimentateurs n'ont pas voulu admettre les résultats des essais exécutés à cette occasion.

En considération du fait que, dans les essais en plein champ aussi bien que dans les essais de végétation en petit, ce sont précisément les sols légers, pauvres en substance organique, qui ont donné un accroissement notable en azote, j'ai institué des expériences sur le même sol de la Marche, qui a servi aux essais décrits plus haut, en le laissant à l'état nu. Ces expériences, dont nous allons parler, peuvent être regardées à tous les points de vue comme des essais complètement parallèles à ceux qui ont été faits, avec une végétation de lupins. Elles ont été en effet exécutées dans des cuvettes en verre pareilles, qui sont restées pendant le même temps, c'est-à-dire du 19 avril au 1er septembre 1887, sous le même toit en verre, et se sont trouvées par conséquent dans des conditions extérieures identiques. Le sol a été aussi le même et a été mélangé exactement de la même manière et dans les mêmes proportions avec des cailloux roulés additionnés de kaïnite et de scories Thomas-Gilchrist ; de même, on a laissé dans une cuvette le sol sans marne, et dans l'autre on y a ajouté 120 gr. de la même marne ; enfin ces cuvettes ont été comme les autres arrosées constamment et uniquement avec de l'eau distillée. A la fin de l'essai, on a préparé les sols pour l'analyse de la même manière que les autres, c'est-à-dire, on les a séchés à l'air, passés d'abord dans un tamis grossier, pour éloigner les gros cailloux, ensuite dans le tamis à 1 millimètre où les parties siliceuses ayant plus de 1 millimètre de diamètre sont restées. Aucune plante phanérogame, issue de semences, n'a poussé sur ces sols, la surface est restée nue. Mais on s'est aperçu que dans les deux cuvettes cette surface avait pris, sur toute son étendue et dans une couche très mince, une

couleur un peu plus foncée, nettement verdâtre par place, et une cohésion un peu plus forte, de sorte que la partie supérieure pouvait être enlevée par croûtes minces, et ne tombait pas en poussière comme le reste du sable. Quand on a voulu écraser cette croûte, on a trouvé que c'était une masse cohérente à fibres fines, d'un gris verdâtre qui enfermait les grains de sable comme dans un tissu. Pour la faire passer par le tamis, il a fallu la pulvériser à part dans le mortier. Cette matière a été ensuite mélangée avec le reste du sable tamisé de façon à former un tout homogène. En examinant cette masse de plus près, on a constaté qu'elle provenait d'une végétation de cryptogames qui, pendant la longue durée de l'essai en plein air, s'était développée d'une manière particulièrement vigoureuse à la surface. Au microscope, on pouvait distinguer deux formes d'*oscillatorias* vert-de-gris, l'une à filaments épais, l'autre à filaments minces ; en outre du *Chlorococcum humicola* vert, peut-être aussi du *Pleurococcus,* ainsi que des filaments de prothalle de mousses ; en un mot, des cryptogames qui à l'air libre se développent à la surface d'un sol un peu humide ; on n'a pas pu trouver de diatomées. Le tableau suivant donne le résultat relatif au changement de la teneur du sol en azote.

NATURE des sols.	QUANTITÉ de sol employé en grammes.			TENEUR en p. 100 d'azote.			TENEUR EN AZOTE NITRIQUE.					AZOTE TOTAL dans le sol mélangé en grammes.		GAIN en azote en p. 100 de l'azote ayant existé à l'origine.
	Sable.	Marne.	Total.	Avant l'essai dans		Après l'essai dans le sol mélangé.	Avant l'essai en p. 100.		Total du mélange.	Après l'essai.		Avant l'essai.	Après l'essai.	
				Sable.	Marne.		Sable.	Marne.		En p. 100.	Quantité totale.			
Sable non marné . .	9950	0	9950	0,00310	»	0,00126	0,00005	»	0,0049	0,00005	0,0049	0,3383	0,1238	+25.27
Sable marné	9830	120	9950	0,00310	0,01149	0,00176	0,00005	0,0001	0,0059	0,0001	0,0099	0,3480	0,1736	+36.09

Incontestablement nous avons ici un accroissement en azote qui s'est produit pendant les 134 jours où le sol était exposé à l'air. Cet accroissement, déjà assez considérable dans le sable non marné, est encore plus fort dans le même sol additionné de marne. Les chiffres

précédents nous fournissent encore un autre enseignement. Ils nous montrent que dans le sable non marné l'accroissement en azote ne se manifeste pas du tout, et que dans le sable marné il se manifeste très faiblement par un accroissement de l'acide nitrique, car le taux de cet acide, déjà bien faible avant l'essai, est resté stationnaire dans le sol non marné, et a peu augmenté dans le sol marné. *L'accroissement en azote s'est donc produit dans le premier entièrement, et dans le second pour la plus grande partie sous forme de composés azotés organiques.* Ce résultat concorderait donc avec celui que Berthelot a obtenu dans ses essais analogues avec des sols argileux, où, comme il a été dit plus haut, l'accroissement en azote s'est aussi produit sous forme de combinaisons organiques, et non sous forme d'acide nitrique. C'est là une des raisons qui ont suggéré à Berthelot l'opinion que l'accroissement observé dans l'azote était dû au développement de micro-organismes, quoique l'existence de pareils êtres dans ses sols d'essai n'ait été démontrée par aucune observation. Or, j'ai réellement constaté dans mes essais la présence de petits cryptogames qui n'avaient pas été remarqués dans les sols avant les essais ; mais ce n'étaient pas des champignons, c'étaient des organismes pourvus de chlorophylle, des algues et des formes de la même famille. Aussi, il n'y a pas de doute que la production de ces algues en assez grande abondance, dont les cellules sont très riches en protoplasma, par conséquent en azote, explique l'accroissement de l'azote sous forme organique. On pourrait admettre d'après cela que ces organismes, pendant leur développement dans le sol, assimilent eux-mêmes de l'azote libre, le convertissent en algues, dont la multiplication serait la cause de tout l'enrichissement du sol en azote. Mais ce n'est là qu'une hypothèse, qui reste telle aussi longtemps qu'on peut se représenter le processus d'une autre manière. Or, il est possible que, par une oxydation de l'azote libre et atmosphérique dans le sol et par sa transformation en acide nitrique, cet acide augmente en quantité, serve d'aliment à une végétation d'algues, etc., au développement rapide et soit ainsi converti en substance d'algues, de sorte qu'il ne puisse pas s'accumuler dans le sol d'une façon notable. Cette hypothèse serait également compatible avec les faits constatés. Il s'agit donc de savoir si dans les circons-

tances données il se produit réellement un accroissement en acide nitrique dans le sol par oxydation de l'azote libre, et cela dans des proportions assez fortes pour expliquer l'accroissement en azote par l'intervention d'une végétation d'algues.

Comme on peut le voir plus haut, Boussingault a déjà admis la vraisemblance d'un pareil processus, quoique ses analyses n'aient pas pu en démontrer la certitude, puisqu'elles indiquent seulement l'augmentation sous forme d'azote total, et non dans quelles proportions elle a eu lieu sous forme organique ou sous forme d'acide nitrique. D'autres expérimentateurs ont exprimé une opinion analogue, mais elle a toujours trouvé des contradicteurs. Cette question aussi devait donc être soumise à un examen plus sérieux. J'ai d'abord institué des essais avec une marne argileuse jaune, de façon à ce qu'en tout cas l'intervention de cryptogames fût exclue et que l'accroissement de l'acide nitrique, s'il devait réellement se produire, fût aperçu distinctement. Les échantillons employés dans ces essais étaient exempts d'ammoniaque ; ils contenaient seulement une légère dose de substance organique, et leur teneur en acide nitrique était également très faible. Mais comme on pouvait présumer que celui-ci était réparti inégalement dans les différentes parties du sol, on commença par doser séparément l'acide nitrique de chaque échantillon destiné aux expérimentations. L'essai fait avec cette marne a consisté à laver 50 gr. beaucoup de fois de suite, à un jour d'intervalle, dans de l'eau distillée pure très chaude, à l'effet d'obtenir non seulement les nitrates qui s'y trouvaient au commencement, mais encore les quantités nouvelles qui pouvaient s'y être formées pendant la durée de l'expérience. Je ferai observer que dans ces essais et dans les essais analogues suivants on a d'abord analysé l'eau distillée à employer pour connaître sa teneur en acide nitrique et qu'on n'en a trouvé aucune trace. Chaque fois on a versé sur le sol environ un litre d'eau distillée et on les a fait bouillir ensemble quelque temps. Le lendemain, l'eau montée à la surface, et qui était devenue claire parce que le sol était descendu au fond, a été décantée pour servir au dosage de l'acide nitrique. Pour éloigner les particules ténues de l'argile, on a fait évaporer le liquide, on l'a ensuite repris par l'eau et filtré. Comme les nitrates sont très solubles, cette

eau a dû nécessairement absorber la quantité de nitrates se trouvant pour le moment dans le sol. Après le premier traitement de ce genre, j'ai obtenu $0^{gr},00073$ d'acide nitrique. La deuxième décoction, faite immédiatement après, a seulement donné de faibles traces d'acide nitrique. On peut conclure de là qu'avec le premier filtrat on a dû récolter à peu près tout l'acide nitrique contenu dans le sol ; et le faible taux, fourni par le deuxième traitement, a pu être soit une formation nouvelle, soit le résidu qui n'avait pas été enlevé par le lavage précédent. Mais, en continuant de faire bouillir et de lessiver tous les jours le même échantillon du sol, on a obtenu chaque fois une nouvelle petite quantité de nitrate dans le liquide. Ainsi, par exemple, la récolte moyenne du 24e jusqu'au 28e lavage a été pour chacun de $0^{gr},00013$. Il est clair que ce ne pouvaient pas être des résidus du nitrate ayant existé à l'origine ; car dans ce cas chaque lavage précédent aurait dû en contenir un peu plus que le suivant; mais, même en admettant que la teneur eût été toujours la même, les 28 lavages, qui ont suivi le premier, donneraient $0^{gr},00364$ d'acide nitrique, c'est-à-dire trois fois plus que cet échantillon de sol n'en contenait primitivement ; ce qui serait tout à fait impossible si l'on considère la grande solubilité des nitrates dans l'eau. Il faut donc admettre une formation quotidienne constante de faibles traces d'acide nitrique. Ces lavages du même échantillon de marne ont encore pu être continués très longtemps avec le même succès, seulement à partir de la 40e fois ils n'ont plus donné que de très maigres résultats, ce qui tient peut-être à ce que ces nombreux traitements des sols leur font subir certaines modifications.

Voyons maintenant la nature des sels formés dans ces opérations. L'analyse qualitative des liquides lessivés a permis d'y reconnaître distinctement de la chaux. Quand on en laissait une portion s'évaporer sur le porte-objet d'un microscope, on pouvait apercevoir nettement dans le résidu, outre les formes grenues caractéristiques du carbonate de chaux, des formations abondantes de cristaux qui distinguent le nitrate de chaux : je veux dire des rosettes composées de lamelles carrées ou rhomboïdes, de longs prismes quadrangulaires irrégulièrement dentés en scie et garnis de rayons ; la déliquescence extraordinaire de ces cristallisations, qui fondaient au simple souffle

de la bouche, était un autre indice qu'on se trouvait en présence de nitrates. Il faudra donc admettre qu'au moment de sa formation l'acide nitrique a été fixé à la chaux, hypothèse qui paraît toute naturelle quand il s'agit d'un sol si riche en carbonate de chaux. Les dosages quantitatifs dans cet essai ont été faits d'après la méthode de Mayerhofer en titrant avec une solution d'indigotine. L'emploi de l'empois ioduré d'amidon a fait aussi découvrir des traces d'acide nitreux. Il n'est donc pas invraisemblable que le premier produit de l'oxydation apparaisse sous forme d'acide nitreux qui est ensuite converti en acide nitrique.

L'essai précédent semblant indiquer que le carbonate de chaux était ici l'élément actif du sol, j'ai entrepris d'expérimenter à part des terres carbonatées pures. 50 gr. de carbonate de chaux pur, pris dans une fabrique de produits chimiques ont été lessivés d'abord avec de l'eau distillée pure, pour éloigner le très faible taux de nitrate qui pouvait s'y trouver. Ensuite on a étendu la masse sur un grand filtre, en la maintenant continuellement humide à la température ordinaire d'une chambre et en la protégeant contre la poussière. Dans ces dosages et dans les suivants, on a employé la diphénylamine. Le dosage initial avait indiqué une teneur en azote de 0gr,00131, qui devait provenir de la préparation ou qui avait été seulement formée au moment du lessivage à l'eau chaude. Pendant les 20 jours suivants, la substance étendue sur le filtre a été trois fois lavée à l'eau chaude et les filtrats ont été recueillis. Dans cet intervalle, les filtrats ont indiqué un gain en acide nitrique de 0gr,00043, c'est-à-dire le tiers du taux primitif.

J'ai institué un essai tout à fait semblable avec du carbonate pur de magnésie. J'ai commencé par en laver 10 gr. dans 500 cent. cubes d'eau distillée. La masse a été ensuite étendue sur un filtre et exposée à l'air à l'état humide. Chaque jour on a versé de l'eau chaude sur le filtre et dosé l'acide nitrique contenu dans le filtrat. Le lessivage initial avait donné 0gr,00025 d'acide nitrique, qui devait évidemment provenir du carbonate de magnésie. Dans les lévigations à l'eau chaude qui eurent lieu pendant chacun des 10 jours suivants, on a constaté la présence de petites doses d'acide nitrique oscillant entre 0gr,00001 et 0gr,00005, dont le total a été de 0gr,00032,

par conséquent une quantité déjà supérieure à la teneur initiale qui avait été enlevée par le premier lessivage.

Dans ces essais, la question est encore toujours de savoir si en réalité nous nous trouvons ici en présence d'une fixation de l'azote libre atmosphérique qui en s'unissant avec de l'oxygène a formé de l'acide nitreux et nitrique, ou si de petites doses d'ammoniaque gazeuse ont été simplement absorbées dans l'air et nitrifiées dans la matière poreuse et spongieuse. Pour répondre à cette question, j'ai d'abord institué des essais dans lesquels tout l'air arrivant jusqu'à la masse humide a dû d'abord traverser de l'acide sulfurique et a été par conséquent dépouillé des traces d'ammoniaque qu'il pouvait contenir. Je me suis servi des matras d'Erlenmeyer clos hermétiquement par des bouchons cimentés à l'extérieur. Chaque bouchon était traversé par un tube adducteur en verre recourbé à l'extérieur auquel pouvait être fixé un tube en U, rempli de fragments de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique. Dans chacun des vases on a introduit 50 gr. de l'argile marneuse jaune employée dans les autres essais, ou bien 10 gr. de carbonate de magnésie. Auparavant, ces substances avaient été lavées avec beaucoup d'eau distillée et dépouillées à peu près complètement de leur nitrate. Elles étaient encore humides quand on les a mises dans les vases. Le premier de ces vases a été relié au tube absorbant de l'ammoniaque, le second a été laissé en communication directe avec l'air extérieur, et ainsi de suite. Tous les vases ont été placés dans un bain-marie qui était chauffé tous les jours pendant 7 heures à 60°, 70° C., et qu'on laissait refroidir le reste de la journée, de sorte que du nouvel air frais devait constamment arriver dans ces vases. Les conditions extérieures étaient donc dans ces essais les mêmes que dans les précédents, seulement quelques-uns des matériaux étaient en communication directe avec l'atmosphère, les autres recevaient de l'air dépouillé d'ammoniaque. L'essai a duré 11 jours. Quand les vases ont été refroidis, on a repris le contenu par de l'eau distillée froide, on a filtré le liquide et dosé l'acide nitrique du filtrat. Dans ces essais on a constaté aussi la conversion d'une certaine quantité de carbonates en nitrates. Dans l'un et l'autre, que l'accès de l'ammoniaque eût été empêché ou non, le sol marneux a donné le même taux

d'acide nitrique, à savoir $0^{gr},00005$. De même, dans l'un et l'autre, le carbonate de magnésie a donné $0^{gr},0003$ d'acide nitrique. En tout cas, ces essais démontrent que les quantités, à la vérité très faibles, d'acide nitrique obtenues par ce traitement, dérivent de l'azote élémentaire et non de l'ammoniaque.

Ceci étant établi, il s'agit de connaître les conditions extérieures dans lesquelles ces phénomènes se manifestent dans les terres carbonatées. Il faut admettre ici un effet de contact d'un corps spongieux poreux, qui augmente l'affinité de l'azote et de l'oxygène jusqu'à les entraîner à se combiner. C'est pourquoi on se demande si l'état du sol n'exerce pas ici une influence, et si cette influence se manifeste déjà à la température ordinaire. J'ai encore choisi pour mes essais le même sol marneux. La première question posée a été celle-ci : *l'étendue de la surface du sol* joue-t-elle ici un rôle ? Après avoir lavé cette marne à différentes reprises avec de grandes quantités d'eau distillée pure afin d'éloigner le nitrate qui s'y trouvait à l'origine, j'en ai étendu 50 gr. en une couche mince dans une cuvette ronde en verre ayant 39 centimètres de diamètre, j'en ai mis une quantité égale dans un cylindre en verre ayant 4 centimètres de diamètre, où elle formait une couche haute de $7^{cm},5$. La marne est restée 107 jours dans ces vases à la température ordinaire d'une chambre, et pendant ce temps elle a été maintenue dans un état d'humidité constante au moyen d'eau distillée. A la fin de l'essai, le sol a été repris par de l'eau froide distillée, et on a dosé l'acide nitrique de la masse extraite. Mais dans aucun des deux liquides on n'a trouvé une quantité appréciable de nitrate, de sorte qu'il ressort déjà de cette expérience que les quantités d'acide nitrique obtenues dans les essais cités plus haut avaient été formées sous la condition d'une température élevée, et *qu'à la température ordinaire la nitrification de l'azote élémentaire n'est ni provoquée ni influencée par l'étendue de la surface du sol.*

La deuxième question que j'ai examinée, a été celle-ci : le phénomène dont il est question dépend-il de la *porosité du sol ?* J'ai donc pris un cylindre aussi étroit que dans l'essai précédent ; seulement, au lieu de le remplir simplement avec de la marne, j'y ai mis 118 gr. de perles en verre rondes et blanches, lavées auparavant,

que j'ai mélangées intimement à l'état humide avec les 100 gr. de marne. Comme chaque perle était ainsi enveloppée d'une mince couche de marne, on avait là une masse très poreuse facilement pénétrable à l'air. Mais dans cet essai on n'a trouvé, également au bout de 107 jours, aucune quantité appréciable d'acide nitrique. J'ai voulu alors rechercher si un passage réel de l'air atmosphérique à travers un sol poreux exerce quelque influence à la température ordinaire. Dans ce but, j'ai rempli deux cylindres en verre ouverts aux deux extrémités, ayant le même diamètre que dans les essais précédents, avec la même masse composée de perles et de marne ; j'ai hermétiquement fermé les deux extrémités avec des bouchons de liège à travers lesquels un tube en verre conduisait de l'extérieur à l'intérieur. A l'un de ces tubes en verre on a fixé un aspirateur qui, tous les jours, pendant un certain temps, produisait un courant d'air à travers le sol mélangé. Comme ces essais ont duré également 107 jours, on croyait naturellement qu'à cause des grandes quantités d'air qui traversèrent le sol dans cet intervalle, il pénétrerait une portion suffisante de l'ammoniaque et de l'acide nitrique qui se trouvent ordinairement dans l'atmosphère, pour amener dans le sol un accroissement en azote. On a donc fixé au tube en verre à l'autre extrémité du cylindre un vase d'absorption rempli d'acide sulfurique et de pierre ponce, qui ne laissait pénétrer à l'intérieur que de l'air exempt d'ammoniaque et d'acide nitrique. Au second cylindre on n'a point fixé de récipient pareil ; il a donc reçu l'air atmosphérique à l'état ordinaire. Mais dans cet essai non plus il ne s'est trouvé dans aucun des deux cylindres une quantité appréciable d'acide nitrique. On voit donc *qu'à la température ordinaire d'une chambre, ni la porosité, ni même l'aération du sol calcaire n'ont le pouvoir de produire une nitrification de l'azote élémentaire,* et que les faibles traces d'ammoniaque contenues dans l'air sont incapables d'accroître la teneur du sol en acide nitrique.

Tous les essais dont nous venons de parler, comparés à ceux que nous avons cités plus haut, dans lesquels le sol ou le carbonate était traité par l'eau chaude, indiquent qu'une température élevée est une condition essentielle de la nitrification de l'azote atmosphérique. J'ai donc cherché à élucider aussi cette question par voie expé-

rimentale. Dans ce but, je me suis servi d'un échantillon du même sol marneux qui, après avoir été lavé soigneusement dans de l'eau distillée, a été pesé et réparti en 3 lots de 100 gr. chacun pour trois essais parallèles. Un dosage de l'acide nitrique contenu primitivement dans l'échantillon a donné pour chaque centaine de grammes du sol 0gr,000038 d'acide nitrique. Le dosage a été également exécuté ici par voie colorimétrique avec une dissolution de diphénylamine d'après la méthode de Wagner. Chacune des trois portions a été mise dans une grande coupe en verre munie d'un couvercle également en verre ; on y a versé de l'eau distillée pure de telle manière que cette eau dépassait la masse de quelques centimètres. L'un des vases a été maintenu tous les jours pendant 6 heures dans un stérilisateur à vapeur à 100° C. ; le second a été placé tous les jours pendant le même espace de temps sur l'appareil à dessiccation, où la température de la marne et de l'eau oscillait entre 45° et 50° C. ; le troisième est resté constamment à la température ordinaire d'une chambre, qui pendant toute la durée de l'expérience s'est maintenue entre 15° et 22° C. L'essai a duré du 10 au 27 octobre. Pendant ces 18 jours, le liquide au-dessus du sol a été enlevé plusieurs fois et remplacé par de la nouvelle eau distillée. Dans chaque quantité de liquide enlevée et dans l'extrait obtenu par lavage à la fin de l'expérience, on a dosé l'acide nitrique qui pouvait s'être formé. On a constaté que par chaque centaine de grammes de sol il a été formé pendant tout le temps :

A 15-22° C.	Aucune trace d'acide nitrique.
A 45-50° C.	0gr,00020 —
A 100° C.	0 ,00031 —

Il résulte de là que *la nitrification de l'azote atmosphérique dans le sol a seulement lieu à une haute température.* Mais on voit également que, si à 100° C., la nitrification est plus abondante qu'à des degrés inférieurs de chaleur, des températures beaucoup plus basses produisent cependant de l'effet. Sans doute à une température ordinaire de l'air, inférieure à 22° C., l'azote n'est pas nitrifié, comme on pouvait d'ailleurs s'y attendre d'après les essais précédents. Mais comme il s'est déjà produit une quantité appréciable de nitrate à

45-50° C., il n'y a point de doute que cette production peut avoir lieu en grand dans les conditions naturelles en plein champ ; car il n'est pas rare que dans notre climat la surface du sol atteigne par insolation ces températures. Ce cas sera encore plus fréquent dans les pays plus chauds. Il se peut que la formation particulièrement abondante de salpêtre dans le sol, que l'on observe précisément dans les contrées chaudes, soit due en partie à cette circonstance.

A la question de savoir si dans ce phénomène il faut admettre une *participation de micro-organismes,* qui fixeraient l'azote libre en agissant comme des ferments, les essais mêmes répondent déjà négativement. Car la température de 100° dans la vapeur d'eau, dons nous nous servons précisément pour stériliser, c'est-à-dire pour tuer les micro-organismes, a produit ici le plus grand effet dans la nitrification de l'azote libre. Nous sommes donc en présence d'un processus inorganique, que l'on peut se représenter peut-être comme une sorte d'action par contact dans les interstices de la substance poreuse, quand ils sont remplis d'air ou d'eau contenant de l'air.

Après ces recherches, nous pouvons revenir de nouveau au fait important constaté plus haut, à savoir que *le sol exposé à l'air et dépourvu de plantes culturales subit réellement un enrichissement en azote, qui se produit sous la forme d'une végétation de cryptogames microscopiques.* L'idée que cet enrichissement du sol en azote combiné sous cette forme végétale pourrait bien être le résultat d'un processus inorganique initial dont les produits seraient ensuite convertis en substance végétale azotée par les cryptogames et par les plantes supérieures possédant encore à un plus haut degré la propriété de fixer l'azote, n'a guère été confirmée par les recherches précédentes. Car la seule nitrification d'azote élémentaire qui, d'après nos constatations, ait eu lieu sans la participation de cryptogames et d'autres plantes, a d'abord fourni si peu de matière, qu'elle ne pourrait pas expliquer l'enrichissement en azote qui, en fait, a été produit par l'intervention des végétaux ; de plus, elle est nulle précisément aux températures ordinaires où la végétation pousse, tandis qu'elle devient seulement appréciable à des degrés de chaleur plus élevés que la végétation en général ne peut pas

supporter. D'ailleurs, on ne peut pas bien se représenter comment ce processus inorganique de la fixation de l'azote serait favorisé par la présence de plantes vivantes. *Par conséquent, l'enrichissement du sol en azote est dû à un développement de cellules végétales albuminées, qui doit être préalablement considéré comme un processus indépendant, sans aucune relation avec des phénomènes qui se passent dans le sol lui-même.*

Peut-être serait-ce ici le moment d'appeler l'attention sur une manière particulière dont le sol se comporte à l'égard de la diphénylamine et que j'ai observée pour la première fois pendant mes recherches. L'observation que j'ai faite ne s'accorde pas — je ne saurais dire pourquoi — avec la grande solubilité des nitrates admise jusqu'ici. Je vais la décrire ici, parce qu'elle peut conduire plus tard à quelque résultat important, et parce qu'elle montre en tout cas que certaines propriétés de sol relatives à l'acide nitrique nous étaient inconnues jusqu'ici.

Comme chaque sol contient un peu de nitrate, on comprend facilement que le plus petit échantillon du sol donnera une coloration bleue, si on y verse à l'état humide une goutte d'acide sulfurique diphénylaminé. Mais si nous examinons cette réaction de plus près, surtout à l'aide du microscope, nous reconnaissons que non seulement le liquide se colore en bleu, ce qui théoriquement doit nécessairement se produire à cause de la grande solubilité des nitrates, mais que *la surface des grains de sable se couvre de taches bleues particulières,* dont la coloration est et reste beaucoup plus intense que celle du liquide dans lequel ils se trouvent. Cette observation peut être faite sur chaque sol contenant des fragments de quartz, puisque ceux-ci ne sont pas dissous dans l'acide sulfurique. La réaction se montre le mieux dans un sable quartzeux naturel le plus pur possible, par exemple dans le sable mouvant très clair de la Marche de Brandenburg. Qu'on apporte une toute petite quantité de ce sol à un état moyennement humide sur un porte-objet, qu'on ajoute assez de dissolution de diphénylamine pour que le sable en soit complètement enveloppé, et qu'on mette le tout sous un couvercle en verre. Lavé, ce sable donne un taux d'acide nitrique extrêmement faible. Il n'est donc pas étonnant que la dissolution de diphénylamine, dans

aquelle se trouve le petit échantillon de sable, reste incolore ou se colore faiblement en azur. Or, tandis que partout ailleurs un nitrate donne immédiatement une réaction avec de la diphénylamine, on est frappé ici de voir que la coloration bleue de l'échantillon de sable n'augmente que peu à peu ; au bout d'un quart d'heure seulement le bleu devient plus intense et au bout d'une heure il prend la nuance azur ou indigo foncé. Le microscope nous apprend que c'est principalement, et pour ainsi dire uniquement à la surface des grains de quartz, et bien peu dans le liquide que la couleur augmente ainsi d'intensité. A l'aide du microscope on peut suivre exactement les progrès de la coloration, et, si l'on veut, sur un seul et même grain de sable. Immédiatement après l'addition du réactif, ce grain est complètement incolore ou uniformément coloré en bleu très pâle. Ensuite il se forme des taches plus ou moins grandes, d'une forme tout à fait irrégulière, dont la coloration augmente continuellement d'intensité, de sorte que le grain présente à la fin un très bel aspect, sa surface ailleurs incolore étant parsemée de taches bleu foncé nettement délimitées (fig. 3). Même sous un verre fortement grossissant, ces dernières ne paraissent pas appliquées mais inhérentes à la surface du grain du sable. Cependant jamais la couleur ne pénètre dans l'intérieur, comme on peut le voir en donnant différentes positions à ces grains de sable presque toujours transparents. Aucune règle n'est observée sous le rapport de la grandeur, de la forme, de la répartition de ces taches sur la surface, mais il est impossible de ne pas reconnaître qu'elles préfèrent les enfoncements, les crevasses, les sillons, ou d'autres places corrodées. En outre, les grains de sable ne se comportent pas tous de la même manière ; à côté de ceux qui sont fortement colorés, il s'en trouve quelques-uns qui restent presque incolores, et à côté de ceux qui sont le plus fortement bigarrés de bleu, il y en a d'autres qui ont seulement des taches bleues sur quelques points ou même sur un seul. Au bout d'une heure à peu près, l'aspect change peu à peu, et comme c'est généralement le cas dans la réaction par la diphénylamine, on se trouve en présence d'une décoloration sale, vert jaunâtre, au milieu de laquelle les taches restent encore visibles. Nous faisons encore observer que la réaction est la même, si le mélange n'est pas mis sous un verre.

S'il y est mis, elle montre ceci de particulier que la périphérie, où le sable est en couche mince, se colore la première en bleu, tandis que dans le milieu, où les grains de sable forment la couche la plus épaisse, la coloration ne se produit pas ou ne se produit que plus tard en avançant progressivement de l'extérieur vers l'intérieur ; de même, les grains isolés dans le liquide en dehors de la périphérie prennent seulement une coloration nette au bout d'une demi-heure à peu près ou restent fréquemment tout à fait incolores. Je ne sais comment expliquer ces inégalités ; elles dépendent peut-être de la difficulté plus grande avec laquelle l'air pénètre sous le verre.

Il est à remarquer qu'on peut ramener les taches bleuâtres sur les grains de sable, après qu'elles ont disparu, par l'addition d'une nouvelle dose d'acide sulfurique diphénylaminé. Quand on lave proprement dans l'eau un tel échantillon de sable, qui au bout de plusieurs heures a complètement perdu sa coloration bleue, les taches des grains de sable, qui étaient auparavant d'un verdâtre sale, reparaissent jaunâtres. C'est aussi là la manière ordinaire dont se comporte la coloration bleue des nitrates provoquée par la diphénylamine, dès qu'on additionne de l'eau en excès. Quand on verse de nouveau quelques gouttes de la dissolution diphénylaminée sur l'échantillon de sable ainsi lessivé, celui-ci reprend son ancienne coloration bleu intense, et les mêmes taches s'y reforment exactement, seulement cette fois-ci, au moment même où l'échantillon entre en contact avec le réactif. Dans notre liquide la coloration bleue, ternie par une longue exposition à l'air, reparaît également, quand on ajoute une nouvelle dose du réactif, mais elle ne devient jamais aussi intense qu'elle l'avait été auparavant.

Il ne peut guère y avoir de doute que ces taches bleues indiquent la présence de nitrate à la surface des grains de sable, car la diphénylamine ne réagit ainsi sur aucun autre élément du sol, et nous n'avons ici aucune des autres combinaisons qui cèdent facilement leur oxygène et que cette substance colore également en bleu. Même le peroxyde d'hydrogène, qui pourrait ici se présenter à l'esprit, doit être exclu à cause de la facilité avec laquelle il se décompose. D'ailleurs l'empois d'amidon ioduré ne réagit pas sur les grains de sable, ce qui est encore une preuve de l'absence du peroxyde d'hydrogène.

Mais la brucine, cet autre réactif connu de l'acide nitrique, provoque également sur les grains de sable la réaction caractéristique de cet acide, c'est-à-dire qu'il forme aussi des taches analogues, mais elles sont rouge-brun ; quant à leur forme, leur répartition, l'intensité inégale de la coloration, ainsi qu'à l'absence de coloration chez quelques grains, elles ne diffèrent pas des taches bleues produites par la diphénylamine. Il faut donc croire que par une sorte d'attraction de surface, les grains de sable retiennent les nitrates, la combinaison bleue formée par ceux-ci et la diphénylamine, ainsi que le corps de couleur terne produit par la décomposition de cette combinaison bleue.

Après avoir reconnu ces faits, j'ai essayé d'élucider cette réaction particulière du sable en le traitant par différents moyens, à savoir par ceux qui servent à léviger les nitrates ou à les détruire. Pour tous ces essais j'ai employé le sable mouvant de la Marche.

J'en ai d'abord lavé une très petite quantité à plusieurs reprises et dans beaucoup d'eau froide, en agitant chaque fois fortement le mélange, mais je n'ai point réussi à faire disparaître l'aptitude à cette réaction, dont tous les caractères sont restés les mêmes et dont l'intensité n'a pas subi la moindre diminution.

Des lavages avec de l'eau chaude ont donné le même résultat. Comme des essais de stérilisation à la vapeur à une température de 100° m'avaient appris que par ce moyen non seulement on tuait les micro-organismes du sol, mais on désagrégeait certains éléments constitutifs, j'ai cherché aussi à me rendre compte de l'influence que ce procédé exerçait sur la propriété en question. Après avoir été lavés à différentes reprises dans de l'eau froide, des échantillons de sable, en partie seulement humides, en partie complètement mouillés, ont été maintenus plusieurs fois pendant plusieurs heures dans le stérilisateur à vapeur. Ensuite le sable a été lavé dans beaucoup d'eau et soumis à l'action de la diphénylamine. Mais, même après que le sol eut été exposé pendant 24 heures en tout à la température d'ébullition, les caractères de la réaction étaient toujours les mêmes. La calcination du sable a donné un résultat essentiellement différent. Comme ce sable mouvant contient à peine des traces de substance

organique, il ne s'y produit point de coloration en noir ; il devient, au contraire, à cause de sa teneur en fer, un peu jaune rougeâtre. Si la calcination a seulement duré peu de temps, celui qui est nécessaire pour amener cette coloration, l'acide sulfurique diphénylaminé, employé de la manière décrite plus haut, produit un autre effet. Sans doute on obtient également une forte coloration bleue, mais dans le liquide seulement et non dans les grains de sable ; même après plusieurs heures, ceux-ci ne montrent aucune tache jaune. On les voit nettement, étendus tout à fait incolores dans le liquide plus ou moins azuré. Même si le sable ainsi calciné a été lavé avec beaucoup d'eau avant l'épreuve microscopique, il donne cependant la même réaction quand il est soumis à l'action de la diphénylamine. Ainsi la calcination change à ce point l'attraction exercée par la surface des grains de sable sur les nitrates que la dissolution de diphénylamine détache immédiatement le nitrate des grains de sable, tandis que l'eau seule n'a point ce pouvoir. Si l'on prolonge longtemps la calcination, la réaction devient toujours plus faible, jusqu'à ce qu'enfin la diphénylamine ne produise plus de coloration bleue. Cela concorde parfaitement avec le fait bien connu qu'en présence d'une forte calcination, les nitrates se volatilisent peu à peu. Ainsi s'explique aussi pourquoi un sable blanc et pur, dont je me sers souvent pour des cultures végétales avec des solutions chimiquement pures et que je tire de la verrerie de Baruth dans la Marche, ne montre aucune trace de la réaction en question.

Le sable perd également cette propriété quand il a été traité par les acides, et surtout quand il a été bouilli pendant quelques minutes dans l'acide sulfurique. Comme ce traitement a, comme on le sait, pour effet de détruire l'acide nitrique, nous avons là une nouvelle preuve que les taches bleues sur les grains de sable sont dues à la présence de nitrates. Si on lave du sable ainsi traité avec de l'eau et qu'on le soumette ensuite à l'action de la diphénylamine, la coloration en bleu est supprimée d'autant plus complètement qu'il a été chauffé plus longtemps dans l'acide sulfurique. Mais le microscope nous révèle alors un nouveau phénomène, à savoir, les grains de sable sont recouverts d'un très grand nombre de petits cristaux de forme grenue, souvent nettement carrée ou rhomboïde (fig. 5). Ce

sont évidemment des cristaux de gypse qui prennent notoirement cette forme cristalline quand ils se trouvent sur des corps de petite dimension. On peut admettre qu'ils remplacent le nitrate de chaux détruit par l'acide sulfurique. Ils se présentent à peu près de la même manière que les taches bleues produites par la diphénylamine sur les grains de sable ; quelques grains en sont entièrement dépourvus, tandis que les autres le sont à des degrés divers ; en outre, ils ne sont pas répartis uniformément sur la surface des grains, mais tantôt ils se trouvent disséminés çà et là en grand nombre, tantôt ils forment des groupes.

Le traitement du sable par une lessive froide de potasse a un effet inverse. Quand on laisse cette dernière agir plusieurs heures de suite, qu'on la décante ensuite et qu'on nettoie le sable en le lavant plusieurs fois avec de l'eau distillée, la diphénylamine produit une coloration bleue très forte, paraissant être plutôt plus intense que dans les cas où le sable n'a pas subi ce traitement.

J'en viens maintenant aux essais dans lesquels je me suis proposé de rendre aux grains de sable l'aptitude à cette réaction qu'ils avaient perdue, afin d'arriver à mieux expliquer ce phénomène remarquable. L'idée de cette expérience est d'autant plus naturelle qu'il faut cependant admettre que dans la nature les grains de sable ont dû, à une certaine époque, exercer cette attraction par la surface. Je puis d'autant moins m'expliquer comment il se fait que je n'ai réussi par aucun moyen à rendre à ces grains de sable la propriété qu'ils avaient perdue. Nous avons vu qu'une calcination de courte durée ne détruit pas le nitrate adhérent aux grains de sable, mais que son adhésion à leur surface devient assez faible pour qu'il soit immédiatement détaché par de l'acide sulfurique diphénylaminé. J'ai donc pris du sable ainsi calciné, je l'ai humecté à différentes reprises avec de l'eau distillée et laissé reposer à peu près 3 semaines, pensant que l'attraction de surface serait peut être rétablie ; mais le résultat a été tout à fait négatif ; les grains de sable se sont comportés après l'expérience de la même manière qu'immédiatement après la calcination.

J'ai institué dans le même but les essais suivants avec le même sable. Après lui avoir enlevé tout son nitrate en le traitant par de

l'acide sulfurique chaud, je l'ai additionné d'une nouvelle dissolution de nitrate assez concentrée, et je l'ai laissé reposer à l'air tantôt à l'état sec, tantôt humecté avec de l'eau distillée. Ces essais ont été faits en partie avec du nitrate de potasse, en partie avec du nitrate de chaux. Toutes les fois qu'un échantillon devait être examiné, on le lévigeait d'abord avec de l'eau distillée, afin d'éloigner le nitrate soluble ; ensuite on l'observait en le plaçant de la manière décrite plus haut avec de l'acide sulfurique diphénylaminé sous un couvercle de verre. Mais, même au bout de trois mois, on ne pouvait apercevoir dans aucun cas la plus faible trace des anciennes taches bleues.

Il résulte de ces essais qu'en laissant, même pendant longtemps, des grains de quartz pur en contact avec une dissolution nitratée, il est impossible de leur rendre l'aptitude à fixer du nitrate par la force d'attraction de leur surface.

Je me suis demandé alors si la présence d'un troisième corps est nécessaire pour que cette propriété revienne. Comme la lessive de potasse avait favorisé la réaction, j'ai traité par cette lessive du sol sablonneux calciné pendant un peu de temps et ne pouvant plus donner de réaction bleue, et je l'ai ensuite lavé à plusieurs reprises et soumis à l'action de la diphénylamine. Même alors j'ai seulement vu des grains de sable incolores dans du liquide bleu, ce que l'on voit également après un traitement analogue sans lessive de potasse. J'ai supposé aussi qu'il existe peut-être dans le sol naturel des dissolutions de substances qui ont seules la propriété de fixer le nitrate sur les grains de sable. J'ai donc additionné le même sable, après lui avoir fait perdre l'aptitude à réagir par des taches bleues, d'extraits aqueux prélevés en partie dans un sol tourbeux, en partie dans le sable mouvant de la Marche, qui contiennent, outre les différents éléments solubles du sol, une certaine dose de nitrate. J'ai également ici fait alternativement sécher et humecter le mélange avec de l'eau distillée. Après un essai, qui a duré trois mois, le résultat a encore été absolument négatif.

J'ai aussi eu la pensée que peut-être ce n'était pas du tout le nitrate déjà existant qui est fixé sur les grains de quartz par l'attraction de surface, mais que cette fixation pourrait avoir lieu dans l'intérieur du

sol au moment même où le nitrate est formé, et que peut-être le processus de la nitrification dans le sol, dont les causes n'ont pas encore été élucidées, pourrait avoir quelque rapport avec cette réaction.

Je me suis donc demandé en premier lieu s'il intervient ici une nitrification de l'azote élémentaire. Mais des essais faits pour rendre au sable l'aptitude à réagir, en l'humectant uniquement avec de l'eau distillée et en l'exposant à l'air, n'ont donné absolument aucun résultat. Comme le carbonate de chaux nitrifie l'azote atmosphérique, d'une façon assez lente à la vérité, j'ai cherché à recouvrir autant que possible la surface entière des grains de sable d'une couche mince de cette substance. Dans ce but, j'ai mélangé avec eux un peu de carbonate de chaux pur, j'ai arrosé abondamment le mélange avec de l'eau distillée, je l'ai fortement agité et j'ai fait passer dans le liquide un courant d'acide carbonique, pour l'en saturer complètement et amener ainsi le carbonate de chaux à se dissoudre. Ensuite j'ai versé le tout dans une cuvette ouverte, et j'ai laissé l'eau s'évaporer peu à peu, de façon à obliger le carbonate de chaux qui se dégageait de nouveau à se répartir sur la surface des divers grains de sable. Pendant 5 mois le sable ainsi préparé a été laissé à découvert, tantôt à l'état sec, tantôt à l'état humide, à la température ordinaire d'une chambre, et pendant ce temps on y a encore fait passer des courants de gaz d'acide carbonique. Mais, même après cet intervalle, on n'a pas remarqué sur les grains de sable la moindre trace de taches bleues produites par la diphénylamine. Comme des essais en grand m'avaient démontré que du carbonate de chaux ou du sol calcaire donnent à chaud d'une façon continue de petites quantités de nitrate, j'ai arrosé le sable qui avait subi la préparation décrite plus haut avec un peu d'eau distillée et je l'ai maintenu en tout 18 heures dans une température d'environ 100°. Si ensuite on soumettait un échantillon à l'action de la diphénylamine, la coloration en bleu se manifestait certainement, mais le liquide seul se colorait, les grains de sable, au contraire, restaient incolores. Il s'est donc formé ici de petites quantités de nitrate, mais celui-ci n'a pas été fixé sur les grains de sable.

Là-dessus j'ai recherché si la fixation du nitrate sur la surface des

grains de sable n'était pas due peut-être à la nitrification de l'ammoniaque dans le sol. Du sable traité par de l'acide sulfurique jusqu'à anéantissement de la réaction, a été bien lavé et additionné ensuite d'un peu de chlorure d'ammoniaque étendu, après qu'on l'eut mélangé avec du carbonate de chaux pur et un peu de marne argileuse. Ce mélange était nécessaire, parce qu'il était démontré que le sable seul, traité de la façon susdite, ne se nitrifie pas. Après qu'on eut laissé le mélange reposer six semaines, il s'est trouvé que l'ammoniaque avait disparu et que la nitrification s'était produite. En examinant au microscope un échantillon de sable additionné de diphénylamine, on a constaté que le liquide s'était assez fortement coloré en bleu, mais que les grains de sable étaient encore une fois sans tache. Les faibles doses d'argile qu'on avait ajoutées sans leur faire subir aucune préparation, et qui s'étaient colorées en bleu, pouvaient facilement être distinguées au microscope des grains de sable restés sans changement.

Il est inutile de se demander si cette fixation de nitrate n'est peut-être pas due à l'influence d'organismes existant dans le sol ; car, même en se servant d'un fort microscope, on ne peut découvrir aucun organisme sur les endroits où les grains de sable ont été colorés en bleu par la diphénylamine. J'ai fait encore un autre essai. J'ai mélangé une portion du sable incapable de réagir avec une petite quantité du même sable frais et j'ai laissé le mélange, après l'avoir humecté, reposer assez longtemps ; même ici, il m'a été impossible de rétablir dans la première portion du sable l'aptitude à la réaction.

La grosseur des grains n'exerce aucune influence. Quand on a laissé pendant quelque temps dans de l'acide sulfurique diphénylaminé des grains de sable grossiers et même des cailloux de la grosseur d'un haricot, pourvu qu'ils proviennent d'un sol naturel, ils décèlent à leur surface, particulièrement aux endroits crevassés, une coloration bleue plus ou moins nette. Mais c'est seulement la surface de ces cailloux qui donne cette réaction : des cailloux pulvérisés ou du cristal de montagne pulvérisé, n'ont montré aucune trace de coloration.

Enfin nous ajoutons encore quelques observations sur la manière

dont les autres sols se comportent à l'égard de la diphénylamine. Dès que le sol contient une certaine portion d'humus, la réaction est faible ou tout à fait nulle. J'ai fait un essai avec du terreau qui à l'origine avait été précisément du sable mouvant de la Marche, mais qui, transporté dans un jardin, était devenu foncé et riche en humus. Traité par de la diphénylamine et examiné au microscope, il n'était pas d'un bleu pur, mais d'une couleur sale, qui dans la suite est devenue brunâtre. Même quand on l'eut soumis plusieurs heures à ce traitement, beaucoup de grains de sable sont restés incolores, et les taches, sur ceux qui en avaient, ne ressortaient pas nettement ; elles étaient d'un bleu grisâtre. On pouvait voir distinctement que la couleur du liquide, d'abord sale, ensuite brunâtre, était due à l'action de l'acide sulfurique sur les miettes d'humus contenues dans le sol, puisque celles-ci cèdent pendant cette opération une dissolution brune à l'acide sulfurique. C'est aussi l'humus qui empêche les taches bleues de se produire sur les grains de sable, comme il résulte des observations suivantes. Quand autour d'une miette d'humus il se forme une île brune dans le liquide, les grains de sable qui y sont parsemés restent sans taches, tandis que dans les endroits, où ils se trouvent plus serrés les uns contre les autres, le nombre de ceux qui sont tachés de bleu est plus grand et la couleur est plus vive. Si l'on mélange sur le porte-objet un échantillon de ce sable humique avec une quantité égale de sable mouvant pur et exempt d'humus qui, employé seul, se couvre de nombreuses taches bleues, aucun des grains de sable placés à la portée de la dissolution brune d'humus ne montre de tache bleue, tandis que ceux qui se trouvent hors de cette portée réagissent en grand nombre. Il n'y a donc aucune raison de douter que le terrain sablonneux humique contient aussi du nitrate et qu'une petite portion en est fixée à la surface des grains de sable ; la dissolution de l'humus dans l'acide sulfurique empêche ou affaiblit seulement la réaction en présence de la diphénylamine.

Le sol argileux aussi montre cette réaction microscopique. Ses éléments constitutifs apparaissent sous le microscope comme des masses de grains fins, au milieu desquels se trouvent des éclats et des grains plus grossiers mêlés de grains de quartz. Traités par l'acide sulfurique diphénylaminé, un grand nombre de ces grains

fins et grossiers prennent une coloration bleue bien caractérisée, et les grains de sable sont, comme à l'ordinaire, couverts de taches bleues. Si un tel sol contient en même temps du carbonate de chaux, celui-ci se dissout naturellement dans l'acide sulfurique, et alors la réaction décrite se produit sur le reste de la terre argileuse et du sable. Dans ce sol aussi nous observons le fait surprenant que la réaction microscopique en question n'est supprimée ni par un lavage antérieur avec beaucoup d'eau froide, ni par un traitement répété, à haute température. Ainsi un seul et même échantillon, qui avait été lavé 65 fois à l'eau chaude, et un autre, qui était resté 81 heures dans le stérilisateur à vapeur, se comportèrent toujours de la même façon en présence de la diphénylamine.

La manière dont le nitrate adhérent à la surface des grains de sable naturels s'est produit, reste donc toujours une énigme. Peut-être la minéralogie pourra-t-elle la résoudre.

CHAPITRE VI

RECHERCHES SUR LA QUESTION DE SAVOIR SI LES POILS DES RACINES INTERVIENNENT DANS LA FIXATION DE L'AZOTE

Des recherches précédentes il résulte que l'accroissement en azote, qu'il est possible d'obtenir dans le sol arable, est produit surtout sous forme de substance végétale vivante, non seulement par les plantes culturales, qui sont essentiellement des collecteurs d'azote, mais aussi dans la jachère où le développement de cryptogames microscopiques est une source féconde de ce principe. Maintenant il s'agit de savoir par quelle voie l'azote élémentaire se transforme en substance végétale. Si nous acceptons encore la théorie de la physiologie végétale, basée sur des expériences d'après lesquelles la plante, considérée seule, ne serait pas apte à fixer de l'azote libre, nous sommes obligés d'admettre une intervention quelconque du sol ou de songer aux parties végétales qui se trouvent dans ce dernier, et alors un rôle analogue serait rempli ici par les phanérogames

dont les racines plongent dans le sol et par les cryptogames qui s'y développent.

Comme les poils des racines sont l'organe de nutrition le plus important dans l'appareil radiculaire, il est naturel de se demander s'ils ont des fonctions particulières dans l'absorption ou dans l'assimilation des aliments azotés. On sait que les poils radicaux sont des cellules épidermiques de la racine, s'allongeant vers l'extérieur en forme d'utricules, qui non seulement augmentent quantitativement le pouvoir absorbant de la racine en accroissant sa superficie, mais qui sont encore aptes à produire certaines actions chimiques, puisque de petites particules terreuses sont solidement soudées ou collées à leur surface, et que d'autre part ils sécrètent des acides organiques qui dissolvent ou corrodent certains éléments du sol autrement insolubles et les rendent ainsi assimilables.

Que le poil de la racine absorbe des nitrates existant déjà dans le sol à l'état de dissolution, cela est certain. Mais ce qu'il importerait de savoir, c'est si le poil de la racine peut triompher de l'attraction de surface exercée, comme nous l'avons vu plus haut, sur les nitrates par certains éléments du sol, ou bien s'il est capable seul ou soudé à des particules terreuses de transformer du gaz azote libre en acide nitrique ; ce point étant connu, nous aurions l'explication de l'enrichissement en composés azotés produit par la végétation et le sol ensemble. Autant que je sache, ces questions n'ont été ni soulevées ni examinées jusqu'ici par aucun expérimentateur. Même l'étude détaillée faite récemment par Frank Schwartz [1] sur les poils des racines des plantes ne dit rien à ce sujet.

Nous rappellerons ici que les racines qui se trouvent dans un sol poreux, contenant par conséquent des interstices remplis d'air, et celles qui plongent dans des endroits humides bien aérés ont les poils les plus longs et les plus nombreux, que la longueur et le nombre de ces derniers diminuent à mesure que l'humidité augmente, et qu'ils sont le plus courts dans les plantes croissant dans l'eau, mais qu'il existe des plantes poussant en terre qui en sont totalement dépourvues. Frank Schwartz a démontré que le manque d'oxygène

---

1. *Untersuchungen aus dem botanischen Institut zu Tübingen,* t. II. 1882.

n'est pas la cause de l'action défavorable exercée par l'eau sur la formation des poils radicaux, et que les mêmes influences, telles que de fortes concentrations de dissolutions salines ou certains poisons, qui ralentissent le développement des racines, empêchent également les poils radicaux de se former.

Dans les recherches suivantes, j'ai surtout employé le lupin jaune, comme étant la plante la plus propre à l'étude de la question dont nous nous occupons. Quand on déracine avec précaution un lupin qui a crû dans un sol modérément frais ou même dans un sable léger assez sec, on voit que les racines sont enveloppées d'une forte couche adhérente de sable, et on remarque que les petits grains de sable sont fortement retenus par les longs et nombreux poils radicaux, qui atteignent quelquefois une longueur de 3 millimètres. Au contraire, si on laisse une plantule de lupin développer ses racines dans l'eau, ces poils sont beaucoup plus courts. Je ferai observer à cette occasion que les racines du lupin aiment peu l'eau distillée, fût-elle tout à fait sans odeur et sans saveur. En effet, si l'on place des lupins au-dessus d'eau distillée, de façon que leurs racines en atteignent bientôt la surface, ils recourbent leur extrémité supérieure dès que cette surface est atteinte et cessent de croître. Le résultat est le même si l'on dissout les sels nutritifs nécessaires dans de l'eau distillée, tandis que si l'on emploie de l'eau de pluie ou de conduite d'eau pour préparer la solution nutritive, ou si l'on offre ces eaux toutes seules au lupin, il y plonge volontiers ses racines qui s'y développent vigoureusement. Je n'ai pas pu élucider la cause de cette influence nuisible de l'eau distillée ; cette influence paraît d'autant plus surprenante que d'autres plantes, telles que le haricot et le maïs, n'y sont pas sensibles. La racine du lupin qui a poussé dans l'eau de pluie ou de conduite d'eau se couvre de poils droits très courts, qui atteignent une longueur d'un tiers ou au plus d'un demi-millimètre. Franck compte les lupins au nombre des plantes qui ne forment pas de poils radicaux dans l'eau, ce qui, d'après ce que nous venons de voir, n'est pas absolument exact.

Entre les poils des racines qui ont poussé dans l'eau et de celles qui ont crû dans l'air humide, il n'y a d'autre différence que celle de la longueur. Chez les unes et les autres, la cellule épidermique se re-

courbe un peu à angle droit au milieu de sa paroi extérieure, et forme un utricule droit cylindrique ; le poil et la cellule épidermique communiquent par une cavité remplie de sève limpide, et le protoplasma forme une couche mince appliquée contre la face interne de la membrane cellulaire de l'un et de l'autre, ce qu'on appelle l'utricule primordial. Celui-ci est nécessairement d'autant plus mince que le poil radical est plus long, puisqu'il s'étend sur une surface plus grande; c'est pourquoi il est bien plus mince dans les poils des racines qui se développent à l'air que dans ceux produits dans l'eau. Mais partout où le poil de la racine atteint une certaine longueur, l'utricule primordial a vers l'extrémité de ce poil une couche plus épaisse de protoplasma, et c'est en cet endroit que l'on trouve constamment le noyau de la cellule. Cette accumulation du protoplasma vers l'extrémité du poil est probablement corrélative de l'accroissement en longueur du poil. Les poils qui ont poussé à l'air et dans l'eau se distinguent surtout de ceux qui ont crû dans la terre par leur forme droite et cylindrique, et par le fait qu'aucun corpuscule solide ne s'attache à leur surface.

Pour voir si le poil radical ayant crû à l'air et vivant en contact avec l'air est apte à lui seul, c'est-à-dire sans la coopération du sol, à fixer l'azote atmosphérique et à le transformer en acide nitrique, j'ai soumis des racines ayant poussé dans l'air humide à l'action de l'acide sulfurique diphénylaminé. Le poil de la racine contient l'eau nécessaire pour provoquer la réaction bleue, si réellement il y a du nitrate en lui ou sur lui. Mais les poils expérimentés n'ont décelé ni trace de coloration bleue, ni taches bleues à leur surface, comme nous en voyons sur les grains de sable; l'acide sulfurique leur donne seulement une couleur jaunâtre uniforme. Cette manière de se comporter n'indiquerait donc pas chez le poil radical vivant une aptitude à convertir par lui-même de l'azote élémentaire en acide nitrique, à moins cependant que la réaction ne puisse pas se produire parce que les quantités constituées sont trop petites et se transforment trop rapidement.

Les poils radicaux, qui se forment dans le sol, se comportent d'une autre façon. La différence la plus frappante et la plus connue depuis longtemps consiste en ce que le poil se tord, se courbe irrégulière-

ment, n'a pas partout la même épaisseur, mais se rétrécit, se gonfle, et s'aplatit surtout aux endroits où des particules terreuses y adhèrent. Pour éviter les dérangements produits dans la position des poils, quand on les enlève de la terre afin de les examiner de plus près, on peut faire croître les racines dans des caisses munies sur le devant d'un vitrage, de façon qu'elles soient visibles de l'extérieur et puissent être examinées à la loupe. On peut voir aussi comment les poils des racines se comportent en général à l'égard des corps solides étrangers, et employer dans ce but du gravier dont toutes les grains aient plusieurs millimètres de diamètre et soient dépourvus des particules terreuses qui pourraient se coller aux différents poils. On remarque d'abord que ceux-ci, partout où il se présente un interstice, poussent droit dans un sens perpendiculaire à la racine, comme c'est toujours le cas dans l'air. Mais là où ils atteignent quelque grain de sable, ils avancent tortueusement le long de sa surface, qu'ils aient atteint ce grain immédiatement en sortant de la racine ou qu'ils aient d'abord poussé droit à travers un espace rempli d'air. En outre, on peut observer que les poils qui, s'ils avaient continué de pousser en ligne droite, auraient passé à courte distance d'une pierre, dévient, se recourbent vers cette pierre et très souvent l'atteignent effectivement. Ce phénomène peut bien être considéré comme un hydrotropisme du poil radical, tel qu'il se manifeste aussi chez la racine, c'est-à-dire il doit être attribué à l'humidité plus grande de la pierre comparée à celle de l'air qui remplit les interstices.

Si on laisse les racines placées derrière le vitrage se développer dans un sable à grains fins, les poils pénètrent dans les couches les plus épaisses et échappent ainsi à l'observation au moyen de la loupe; mais dans le cas où il se trouve immédiatement derrière le vitrage, à peu de distance des côtés de la racine, quelques grandes lacunes dans le sable, on peut y voir apparaître quelquefois les extrémités de quelques poils. Cela nous démontre que les poils radicaux rayonnent, même dans une épaisse couche de sable, aussi loin de la racine que lorsqu'ils poussent dans l'air. Le même fait peut être constaté quand on enlève avec précaution des racines de lupins qui ont crû dans le sable mouvant, et que l'on examine avec soin l'épaisse couche de sable dont elles sont revêtues. On trouve alors que les poils des

racines se sont glissés à travers les grains de sable les plus grands et qu'ils y adhèrent seulement par places ; ce petit nombre de points de contact joint à l'enchevêtrement des innombrables poils, au milieu duquel les petits grains de sable sont, pour ainsi dire, suspendus seulement, suffit pour produire autour de la racine un revêtement de sable extrêmement épais. A l'aide d'un bon verre grossissant on voit en outre que de petits corpuscules, dont le diamètre est le plus souvent inférieur à celui des poils, adhèrent réellement à la surface de ces derniers; ce sont les plus petits grains de quartz et d'autres particules ténues, contenus dans le sable mouvant. Quand on essaie de détacher ces corpuscules mécaniquement, on constate que leur adhésion n'est nullement faible, mais qu'en réalité ils sont collés ou soudés solidement à la membrane du poil radical. D'après Frank Schwartz, ce phénomène doit être attribué à une gélification de la couche membraneuse externe du poil de la racine. Quant au contenu des poils radicaux qui ont poussé dans le sable, il n'est pas essentiellement différent de celui des poils qui ont poussé dans l'air ou dans l'eau ; on voit aussi ici une mince couche protoplasmique le long des parois, qui semble également devenir plus épaisse vers l'extrémité du poil. Ce protoplasma est tantôt uniforme, tantôt il forme nettement de très fins écheveaux qui s'anastomosent. Assez souvent on peut également reconnaître le nucléus dans la région voisine de l'extrémité du poil, surtout si l'on emploie les moyens de teinture usités en ces cas. Mais souvent il est impossible ou l'on n'est pas certain de le trouver; sans doute les particules terreuses adhérentes empêchent quelquefois de bien voir l'intérieur, mais de temps en temps on aperçoit une portion du protoplasma, que l'on pourrait prendre pour un nucléus indistinct, en train de se dissoudre, de sorte qu'il semble réellement disparaître plus tard, tandis que le protoplasma continue de vivre. Quand on traite par l'acide sulfurique diphénylaminé des poils radicaux qui se sont développés dans le sable mouvant, le poil lui-même prend seulement une couleur jaune uniforme, mais après quelque temps les particules du sol adhérentes à sa surface prennent en majeure partie une coloration bleue assez intense, comme les petits grains de sable dont nous avons parlé plus haut (fig. 6). Outre les grains nettement bleus, nous en trou-

vons quelques-uns qui restent complètement incolores; cela s'accorde parfaitement avec la manière dont se comporte le sol sablonneux seul; quand on le traite par la diphénylamine il y a toujours, comme nous avons vu, quelques grains qui ne prennent point de coloration bleue. Quelquefois on aperçoit çà et là sur le poil radical des flocons nuageux, à contour indéterminé, presque mucilagineux, contenant des grains fins; ce sont évidemment des particules de terre argileuse; soumises à l'action de la diphénylamine, celles-ci aussi se colorent nettement en bleu. Dans cette réaction ce sont toujours les particules étrangères adhérentes au poil radical qui prennent la coloration; le poil lui-même ne la prend jamais.

Cette observation devait nécessairement susciter d'autres questions ayant trait à ce phénomène. Le poil radical vivant ne pourrait-il pas, pendant la durée de la végétation de la plante, triompher de l'attraction de surface exercée sur le nitrate par les particules du sol, auxquelles il est intimement lié, et en détacher cette substance, ce que de simples lavages avec de l'eau ne peuvent pas faire? Comme on sait que le poil radical vivant triomphe des forces d'absorption du sol, que même par suite de la sécrétion de certains acides organiques, il désagrège des éléments compacts du sol, cette conjecture serait assez naturelle. S'il en était ainsi, cela signifierait qu'une plante, poussant dans un sol en apparence très pauvre en azote, pourrait cependant utiliser peu à peu certaines doses de nitrate solidement fixées qu'un lavage ordinaire avec de l'eau ne peut pas enlever, et nous aurions là une nouvelle explication du fait que les plantes, qui n'ont pas reçu d'engrais azoté, trouvent encore pendant assez longtemps dans le sol arable l'acide nitrique qui leur est nécessaire. Ou bien la réaction de surface des particules du sol en présence de la diphénylamine est-elle peut-être le signe d'une formation constante d'acide nitrique que le contact des poils radicaux vivants n'entrave pas et qu'il favorise au contraire.

Pour répondre à ces questions, j'ai examiné la manière dont se comportent les poils radicaux dans les différentes phases de la vie des lupins. J'ai employé dans ce but des plants qui avaient crû en plein champ sur une couche faite avec du sable de la Marche, auquel j'avais ajouté un peu de marne, des scories Thomas et du kaïnite.

Examinés bientôt après la germination, les poils radicaux auxquels adhéraient des parties terreuses, ont montré, en présence de la diphénylamine, la réaction décrite plus haut. On a procédé à un deuxième examen au milieu de juin, quand les plants avaient déjà des tiges longues de 8-12 centimètres et chacune 12 feuilles en moyenne. Quand le système radiculaire, assez fortement développé, eut été traité par de la diphénylamine, on a encore observé la coloration bleue et les taches bleues sur les portions du sable qui se trouvaient en contact immédiat avec les racines, aussi bien que sur les gros grains gisant çà et là dans le voisinage de la racine, et sur les petites particules du sol adhérentes à la surface de la racine. En même temps on a traité par le même réactif les portions de sable enlevées avec la plante qui ne se trouvaient pas en contact direct avec les racines, afin d'établir une comparaison sur la force de la réaction dans les deux cas. Fait digne de remarque, le sable adhérent à la racine et celui qui n'y touchait pas immédiatement n'ont montré aucune différence caractéristique dans leur réaction ; le premier a plutôt réagi plus fortement que le second. Dans la seconde moitié de juillet, où les lupins étaient près de fleurir, j'ai répété l'examen et j'ai encore constaté le même résultat. Le 6 août aussi, quand les fruits avaient déjà atteint leur grosseur habituelle et que les graines commençaient à se développer, quand, par conséquent, la plante entrait dans la période de son plus grand besoin d'azote, le sable adhérent aux racines ainsi que les grains adhérents aux poils radicaux et les flocons ont continué de donner la même coloration bleue. Le 6 septembre, les plantes étaient à la veille d'être mûres, les graines dans les gousses avaient déjà atteint ce point de maturité où le tégument de la semence se couvre de taches, mais l'embryon était encore vert et plein de sève, quoique déjà pourvu complètement des réserves alimentaires. Néanmoins les racines étaient encore pleines de vie et d'activité. A cette époque encore, le sable adhérent aux racines et aux poils ainsi que les flocons ont donné la même réaction intense (fig. 7). Nous devons même observer que les parties anciennes des racines avaient conservé la faculté de réagir. La coloration du sable en contact avec les racines, comparée à celle de la partie du sol un peu plus éloignée, n'était nullement plus faible ; elle était plutôt

encore plus forte ; elle était tellement intense que non seulement les grains de sable eux-mêmes se coloraient en bleu, mais que le liquide du réactif prenait une coloration bleue passablement forte ; ce qui indiquait qu'il devait encore exister là du nitrate facilement soluble. On ne peut pas objecter ici que cette forte réaction pourrait provenir du nitrate contenu dans la racine, car elle s'est produite également sur le sable adhérent aux racines, quand on le détachait et qu'on le traitait seul par le réactif. D'autre part, le lupin, comme nous l'avons vu, est une plante dans laquelle le nitrate est élaboré très vite après avoir été absorbé par la racine et ne tarde pas à disparaître comme tel ; des racines de lupin tout à fait dégarnies de sable réagissaient faiblement ou point du tout.

Il résulte de ces observations que les poils des racines, ou les substances dissolvantes qu'ils sécrètent, ne suppriment pas l'attraction de surface exercée sur le nitrate par les particules du sol, comme le fait la calcination ; même la longueur de la végétation du lupin n'amène pas ce résultat. La propriété de réagir fortement est conservée non seulement par les petites particules adhérentes au poil radical ; mais encore par les flocons bleus des plus gros grains de sable, comme j'ai pu m'en assurer. En effet, on trouve assez souvent de gros grains, sur la surface desquels les poils des racines ont poussé dans une direction tout à fait déterminée, en passant indistinctement sur des places incolores et sur celles qui se couvrent de taches bleues. On peut en ce cas reconnaître nettement que la coloration ne disparaît pas et n'est pas affaiblie aux endroits directement touchés par les poils radicaux.

J'ai ensuite cherché à savoir si, en diminuant la quantité absolue de nitrate offert, c'est-à-dire par privation d'aliments azotés, on peut forcer les poils radicaux à développer une plus grande énergie afin d'arracher aux grains de sable le nitrate qu'ils retiennent à leur surface. Dans ce but j'ai opéré avec des volumes de sol restreints ; j'ai rempli des pots à fleurs d'une contenance de 3 litres ou de 1 litre avec le même sol sablonneux qui avait servi à former la couche d'essai, et dans chaque pot j'ai semé une graine de lupin ; les pots sont restés à l'air libre à côté de la couche, et on a pris soin que les racines ne puissent pas sortir par les trous. Les semailles ont été

faites dans le même temps que celles de la couche. Les lupins se sont également bien développés dans les pots, ont fleuri et produit des fruits avec des graines mûres. A la veille de leur maturité, quelques-uns ont été dépotés. Les racines avaient poussé vigoureusement et occupé le pot entier. Traités par la diphénylamine, la couche de sable adhérente aux racines et les poils radicaux se sont comportés, sous le rapport de la forme et de l'intensité de la réaction, absolument comme les plantes de la couche en plein champ, et cela non seulement dans les grands pots, mais encore dans les petits. J'ai en outre cherché, en lavant ce sable mouvant avec de l'eau distillée, à l'appauvrir le plus possible en azote, et j'ai rempli de petits pots à fleurs, les uns avec du sable ainsi lavé, les autres avec du sable non lavé; dans chacun d'eux j'ai semé trois graines de lupin. Dans un volume de sol si restreint les plantes ont été naturellement bien loin de se développer aussi vigoureusement qu'en plein champ ou dans des pots de plus grandes dimensions, et celles qui poussaient dans le sable lavé étaient beaucoup plus chétives que celles qui croissaient dans le sable non lavé ; ce qui s'explique suffisamment par l'enlèvement d'éléments nutritifs solubles dû au lavage. Comme il a été dit plus haut, le simple lavage avec de l'eau ne prive pas les grains de sable de l'aptitude à bleuir leur surface en présence de la diphénylamine. Aussi ceux qui ont été lavés ont-ils montré, dans le voisinage immédiat des racines et en tant qu'ils étaient adhérents aux poils radicaux, la même intensité de réaction que dans les cultures où le sable n'avait pas été lavé.

Il est permis de conclure de ces essais que la plante vivante ne peut pas, au moyen de poils radicaux et des sécrétions de la racine, détacher des particules du sol le nitrate qui y est retenu par l'attraction de surface. Autrement il faudrait admettre qu'il se forme constamment du nouveau nitrate remplaçant immédiatement celui qui a été absorbé par la racine. Si cette dernière hypothèse pouvait être confirmée, nous aurions trouvé le processus présumé de la fixation de l'azote dans le voisinage immédiat des poils radicaux. On ne peut pas se dissimuler que les observations précédentes semblent parler en faveur d'une formation nouvelle constante de ce genre, puisque nous avons constaté que dans tous les temps, même à l'épo-

que où la plante éprouvait le plus grand besoin d'azote, la réaction du nitrate s'accentuait plutôt dans le voisinage immédiat des racines que sur les points plus éloignés d'elles, et cependant il faut admettre que les racines absorbent constamment du nitrate dans leur voisinage immédiat. Or, si les poils radicaux pouvaient fixer et combiner de l'azote à la surface des particules ténues du sol avec lesquelles ils se trouvent en contact, on réussirait peut-être à rétablir chez les grains de sable, en faisant agir sur eux des racines vivantes, cette aptitude à la réaction qui, une fois perdue, n'a pu être restaurée par aucun procédé chimique. Après avoir calciné et lavé à plusieurs reprises du sable quartzeux pur de Baruth, j'y ai semé des graines de lupin et je l'ai arrosé avec de l'eau distillée. Comme nous l'avons vu plus haut, ce sable ne montre presque aucune réaction et les graines ne décèlent aucune trace de taches bleues. Les racines des lupins, qui dans ce sol sablonneux ont atteint à peu près la hauteur de deux doigts, étaient également revêtues d'une épaisse couche de sable quand on les a arrachées. Traités par la diphénylamine, ces sables n'ont donné aucune trace de coloration en bleu. Les grains de sable enchevêtrés dans les poils radicaux n'ont donné nulle part, pas même aux endroits où ils étaient en contact direct avec ces derniers, la moindre trace de réaction, et les poils radicaux ont pris la coloration jaunâtre habituelle. Sans doute la seule conclusion à tirer de ce fait serait celle-ci : une fois perdue, cette constitution particulière de la surface, grâce à laquelle les grains de sable se couvrent de nitrate, ne peut pas leur être rendue même par le poil radical vivant. Mais rien n'empêche de supposer que les grains de sable, doués de cette propriété, deviennent seuls aptes sous l'influence du poil radical à former du nouveau nitrate que ce poil pourrait alors absorber.

Pour vérifier cette hypothèse, il n'y aurait qu'un moyen, ce serait de montrer du nitrate ainsi nouvellement formé dans la racine elle-même, après qu'elle l'a absorbé. Car si elle est fondée, il est à présumer que les doses de nitrate produites sous l'influence et dans le voisinage immédiat des poils radicaux sont rapidement absorbées par la racine et se trouvent par conséquent en elle plutôt qu'au dehors d'elle. Mais le lupin ne convient guère pour un essai de ce genre

à cause de la rapidité avec laquelle sa racine élabore les nitrates. J'ai donc choisi le pois, parce que les nitrates restent longtemps dans sa racine et dans ses organes aériens sans subir aucun changement. Mon premier essai a été fait avec le sable quartzeux de Baruth traité comme plus haut, mais arrosé en outre d'une solution complètement exempte d'azote, afin que les pois puissent s'y développer promptement. Quand les plants eurent atteint une hauteur de 25-30 centimètres, j'ai examiné leurs racines et leurs tiges, et je n'ai trouvé nulle part trace d'une réaction nitrique semblable à celle qu'avaient montrée les grains de quartz adhérents aux poils radicaux. Cela démontre que le pois non plus ne forme pas d'acide nitrique, si on ne lui en a pas déjà offert. Des essais analogues ont été entrepris avec des pois dans du sable mouvant de la Marche, la première fois sans que le sable ait été soumis à aucun traitement, la seconde fois après un lavage par lequel on avait fait disparaître les nitrates qui s'y trouvaient. On a encore additionné le sol lavé d'une solution nutritive non azotée pour favoriser le développement des pois. Quand les plants eurent 25-30 centimètres de haut et qu'ils étaient encore en pleine croissance, on les a traités par la diphénylamine. Ceux qui avaient poussé dans le sable non lavé ont montré dans les racines et dans la tige entière une coloration bleu foncé; ils avaient donc absorbé les faibles doses de nitrates solubles qui existaient dans le sable. Cette absorption avait exigé un certain temps, car lorsque les plants avaient seulement 7 centimètres de haut, leurs racines n'avaient donné qu'une réaction douteuse et leur tige que des traces d'une réaction. Les plants, au contraire, qui avaient poussé dans le sable lavé, n'ont montré, quand ils avaient 25-30 centimètres de haut, aucune trace de réaction nitrique ni dans les racines, ni dans la tige, quoique les grains de sable se soient couverts de très belles taches bleues, en conformité avec l'observation faite plus haut que le sable ne perd pas, même par un fort lavage, l'aptitude à la réaction. Cet essai prouve donc que la plante du pois contient seulement du nitrate, si le sol lui en offre à l'état soluble, mais qu'elle ne peut ni détacher le nitrate retenu sur les grains de sable par l'attraction de surface, ni former de nouveau nitrate sous l'influence de ce sable, de même que par son activité vitale elle ne peut pas

rendre aux grains de sable l'aptitude à la réaction quand ils l'ont perdue.

Pour m'assurer par un autre moyen si les poils radicaux vivants peuvent transformer dans le sol l'azote en acide nitrique, j'ai essayé s'il était possible, en lavant le sol traversé par des racines vivantes, d'extraire le nitrate qui aurait été formé. Dans ce but j'ai garni d'un filtre épais en papier à filtrer pur de grands entonnoirs en verre, et j'ai rempli chacun d'eux de $1^{kg},2$ de sable mouvant de la Marche séché à l'air, après l'avoir lavé auparavant à plusieurs reprises avec de grandes quantités d'eau, pour éloigner tous les nitrates qui pouvaient en être extraits. A chaque échantillon de sol j'ai ajouté ensuite 200 centimètres cubes de solution nutritive non azotée à 0,05 p. 100. Dans quelques-uns de ces entonnoirs il a été semé un pois, d'autres n'ont reçu aucune semence. Les entonnoirs ont été placés sur des vases munis d'un bouchon, dans lesquels l'eau traversant leur contenu pouvait être recueillie. Au commencement, le sol qu'ils renfermaient a été maintenu à un état moyennement humide. Après que les plants se furent développés au point que les cotylédons de la semence germée étaient à peu près vidés, on a coupé ces derniers et on les a éloignés en même temps que les téguments des semences, pour que leur putréfaction n'amenât pas dans le sol la formation de petites quantités d'acide nitrique. Si donc on faisait passer à de certains intervalles à travers tous ces échantillons de sol, à travers ceux qui étaient pourvus de plantes comme à travers ceux qui en étaient dépourvus, une grande quantité d'eau distillée pure, par exemple 1 tiers de litre à la fois, on pouvait espérer trouver de l'acide nitrique dans le filtrat sortant des entonnoirs, si toutefois il en avait été formé. Cette lévigation a été exécutée pour la première fois 4 semaines après la germination, quand les plantes de pois avaient atteint une hauteur de 18 centimètres environ, pour la deuxième fois 3 semaines plus tard, quand les plantes avaient environ 40 centimètres de haut, et pour la troisième fois 1 semaine après quand elles étaient hautes de 85 centimètres et que les premiers bourgeons à fleurs apparaissaient. Après chaque lévigation, j'ai ajouté de nouveau au sol une égale dose de la même solution nutritive qui avait été donnée au commencement. J'ai réduit au bain-marie le filtrat

de chaque essai et j'ai déterminé quantitativement au moyen de la diphélynamine, d'après le tableau de dosage de Wagner, le nitrate que le sol pouvait avoir cédé. Chacun des deux échantillons de sol sans plantes a donné seulement 0^g,00015 de nitrate, par conséquent des traces qui pouvaient être attribuées à une lévigation insuffisante du nitrate qui existait à l'origine dans ce sol, ou bien aux faibles quantités de substance organique se trouvant dans le sable. Des trois échantillons de sol traversés par des racines j'ai obtenu de l'un 0^g,00015, de l'autre 0^g,00015 et du troisième 0^g,00025 de nitrate. Cet essai montre donc que, sous le rapport de la formation du nitrate, le sol pur et le sol traversé par des racines se comportent à peu près de la même manière ; la présence des racines vivantes dans le sol dépouillé à peu près de tout son nitrate n'a amené aucun accroissement nettement perceptible d'acide nitrique. De même donc que les essais précédents, celui-ci est loin de corroborer l'hypothèse d'après laquelle l'aptitude de la plante à fixer de l'azote repose sur une nitrification opérée dans le sol par les racines.

CHAPITRE VII

SUR LES RAPPORTS QUI EXISTENT ENTRE LE STADE DU DÉVELOPPEMENT DE LA PLANTE ET SON APTITUDE A FIXER DE L'AZOTE.

Les essais de végétation décrits plus haut nous ont appris un fait important touchant l'intervention de la plante vivante dans la fixation de l'azote libre qui a lieu dans l'agriculture, à savoir : la quantité fixée est en raison directe de la vigueur avec laquelle les plantes se développent; elle est insignifiante, si celles-ci sont débiles et chétives; elle est d'autant plus forte, toutes conditions égales d'ailleurs, que celles-ci sont vigoureuses et avancées dans leur développement.

Mais ce fait ne nous donne encore aucune idée nette de la manière dont la plante opère en cette circonstance. Il peut être interprété diversement. La cause efficiente pourrait être la plante entière ou bien une portion déterminée de la plante en vertu de son plus grand

développement. Il se pourrait par exemple que la portion souterraine fût l'agent principal de cette fixation, car la croissance plus ou moins vigoureuse d'un végétal, et spécialement de la partie aérienne, correspond toujours à la vigueur avec laquelle la racine se développe ; et c'est l'activité du système radiculaire qui prolonge naturellement la durée de l'existence de la partie aérienne. D'autre part, on pourrait aussi dire que la partie aérienne fixe l'azote, précisément parce que l'accroissement de ce principe est en raison du degré du développement de la partie aérienne et de la durée de son existence.

Pour bien résoudre cette question, le meilleur moyen sera d'étudier la marche du développement de la racine et de la comparer avec le développement, la nutrition et la vie de la plante entière. Pour cette étude j'ai encore choisi le lupin jaune, puisqu'il occupe un rang important parmi les végétaux qui enrichissent le sol en azote. Pour suivre pas à pas le développement des racines dans un seul et même individu végétal depuis la germination jusqu'à la fin de la végétation, l'on peut se servir des caisses hautes d'un mètre, dont le vitrage oblique, placé sur le devant, permet de voir les racines dans l'intérieur du sol, comme il a été dit plus haut. Dans cet essai, le fond de la caisse a été rempli de sable mouvant de la Marche dépourvu d'humus, et la surface a été couverte à une profondeur de 12 centimètres d'une couche de sable humique plus foncé, ce qui correspond aux conditions ordinaires du sol cultivé. Derrière le vitrage on a semé 9 graines de lupin à égale distance l'une de l'autre. Pour arriver à ce qu'elles lèvent aussi simultanément que possible, on a pratiqué une fente dans leurs téguments; ce qui a fait qu'elles ont presque toutes germé dans l'espace de 5 à 6 jours; autrement les graines de lupin emploient pour la germination un temps plus long, et surtout très variable; certaines d'entre elles restent souvent plusieurs semaines avant de germer. Les neuf plantes de lupin ont développé de très belles racines qui ont été de temps en temps dessinées exactement. De ces copies j'ai pris seulement 3 lupins voisins l'un de l'autre (fig. 8), puisque ces 3 ont poussé d'une façon presque identique aux autres et qu'ils suffisent pour caractériser la manière dont se comportent en général les lupins

jaunes. Les semailles ont été faites le 17 avril, et la germination a commencé le 23 avril. Comme dans les deux semaines après sa germination le lupin ne développe à proprement parler que son pivot, qui pendant ce temps s'enfonce progressivement dans le sol, je n'ai pas fait faire de dessin spécial de ce stade de développement.

1re période, quatre semaines après la germination. Nous examinons pour la première fois les racines le 23 mai, telles qu'elles sont représentées figure 8. Pendant les quatre premières semaines, le pivot est descendu verticalement à une profondeur de 60 à 65 centimètres, et les racines latérales, qui rayonnent à côté suivant un angle d'environ 45°, s'avancent tout au plus jusqu'à une profondeur de 40 centimètres, la portion inférieure du pivot en étant dépourvue. On ne remarque encore aucune trace de tubercules radicaux. Pendant ces quatre premières semaines, la partie aérienne de la plante a fait peu de progrès, puisqu'il ne s'est encore formé aucune tige au-dessus des cotylédons, qu'il s'est seulement développé 3 ou 4 feuilles et que les plantes ont seulement atteint une hauteur de 8 centimètres. Nous voyons d'après cela que pendant cette période l'activité principale de la plante s'est portée sur le développement des organes souterrains.

2e période, huit semaines après la germination. Le dessin représentant les mêmes plantes le 20 juin, c'est-à-dire environ quatre semaines plus tard, occupe la seconde place dans la figure 8. Nous voyons avec quelle vigueur le système radiculaire s'est développé pendant cette période. Les pivots des trois lupins ont pénétré maintenant jusqu'à une profondeur de 90-100 centimètres et ont atteint par conséquent le fond de la caisse. En même temps les racines latérales ont avancé vers le bas, puisque nous en voyons à une profondeur de 80 centimètres ; seulement, dans cette nouvelle région de 40-80 centimètres, elles sont moins abondantes que dans la région supérieure. Dans les 40 centimètres supérieurs l'enracinement a peu changé ; les racines latérales, qui existaient déjà antérieurement, ont seulement grossi un peu et se sont un peu allongées ; çà et là seulement on en découvre une nouvelle. Comme autre phénomène important nous observons l'apparition des tubercules radicaux, qui se sont formés principalement sur le pivot et en partie sur les ra-

cines latérales. Mais d'autre part on est frappé de voir que dans cette seconde période de quatre semaines la partie aérienne a encore fait peu de progrès; elle atteint seulement une hauteur de 10 centimètres; l'accroissement de la tige a à peine commencé; il est loin d'être question de fleurs; on voit seulement des feuilles vertes, en moyenne 10 sur chaque plante. Cette première période de huit semaines après la germination, pendant laquelle le lupin jaune se développe avec une si grande lenteur, est connue dans l'agriculture sous le nom de *période de la famine*. Mais nous voyons que cette désignation est seulement exacte si on l'applique à la partie aérienne de notre plante, car cette dernière ne s'est nullement arrêtée dans son développement, seulement son activité a profité principalement aux organes souterrains.

3e période, seize semaines après la germination. Les plantes sont arrivées maintenant à l'état adulte et près de la fin de leur végétation, c'est-à-dire au moment où leurs fruits sont presque mûrs. Depuis l'examen précédent, il s'est encore écoulé huit semaines; nous avons donc devant nous le résultat de toute la seconde moitié de la durée de la vie de la plante. Si nous observons les changements dans les parties souterraines, nous remarquons que les racines latérales sont descendues jusqu'à une profondeur de 100 centimètres, à savoir jusqu'au fond de la caisse et que çà et là il s'en est formé de nouvelles dans les régions supérieures; le nombre des tubercules radicaux n'a pas augmenté, mais ceux qui existaient auparavant ont un peu grossi. Dans cette seconde moitié de la durée de la végétation du lupin, les organes souterrains se sont donc encore développés, mais ce développement est bien faible en comparaison de celui de la première moitié. Inversement, l'activité végétale s'est portée pendant cette période sur la partie aérienne. Si on compare le résultat atteint dans cette seconde moitié avec celui qui avait été obtenu à la fin de la première, on voit une différence énorme; les plantes ont maintenant en moyenne une hauteur de 40 centimètres, elles ont de nombreuses feuilles nouvelles, ont fleuri dans l'intervalle et leurs gousses sont maintenant presque mûres.

Après ce que nous venons de dire, le long arrêt dans le développement du lupin, pendant la première moitié de sa période de végé-

tation, la prétendue *période de la famine,* se comprend et s'explique facilement. Il a lieu seulement dans la partie aérienne de la plante, et il a deux causes. La première est qu'une formation abondante de substance végétale, telle que nous l'avons vue se produire dans la seconde moitié de la période de la végétation, est seulement possible si la plante possède un système radiculaire plein de vigueur et d'activité, capable de puiser dans le sol les nombreux matériaux nécessaires à cette formation. La seconde cause est que précisément pendant la première moitié tous les éléments nutritifs puisés dans le sol sont employés à la création et au développement du système radiculaire et peuvent d'autant moins profiter à la partie aérienne. En outre, c'est dans la première moitié de la vie du lupin que naissent et se développent les tubercules radicaux. Ces derniers organes sont très riches en azote et en autres éléments nutritifs précieux qui ne se trouvent que dans le sol. La présence, dans le tissu intérieur parenchymateux de ces tubercules, d'innombrables bactéroïdes, dont nous avons parlé plus haut et dans lesquels nous avons reconnu des corps protéiques formés, est déjà une preuve de leur forte teneur en azote, et place ces organes au point de vue de la richesse en protéine à côté des semences. Mais l'analyse chimique donne à ce sujet des renseignements plus exacts. Troschke a fait une analyse comparative des tubercules radicaux et des racines du lupin, dont nous donnons ici les chiffres qui se rapportent aux substances les plus importantes :

IL EST CONTENU DANS :	TUBERCULES radicaux.	RACINES.
	P. 100.	P. 100.
Eau	86.95	76.81
Dans 100 parties de substance sèche on trouve :		
Cendres brutes	7.51	4.07
Graisse brute	5.33	1.31
Fibre brute	9.43	52.59
Azote total	7.25	1.13
Protéine brute	45.31	7.06
Albumine	31.59	5.20
Extrait non azoté	32.42	34.61
Dans 100 parties de cendres pures on trouve :		
Potasse	16.60	12.80
Acide phosphorique	16.19	8.84

J'ai aussi dosé l'azote contenu dans les tubercules radicaux ainsi que dans les parties de la racine exemptes de tubercules de ces mêmes lupins, et en calculant la teneur d'après la substance sèche à 50° C, j'ai obtenu dans les tubercules radicaux 5.009 p. 100, dans les racines 2.364 p. 100. La différence en comparaison de l'analyse de Troschke s'explique par le fait que je n'ai pas détaché les tubercules du corps de la racine qui les traverse et que je les ai analysés ensemble ; ce qui a augmenté la teneur en matière ligneuse, consistant en cellulose. Cette manière de procéder me semblait plus correcte, parce que le tubercule radical n'est qu'un fragment de racine transformé, dont font également partie les parties ligneuses qui avaient aussi été comprises dans les dosages comparatifs des racines. En tous cas, la grande richesse des tubercules en azote saute aux yeux ; elle égale presque celle des graines de lupin qui oscille entre 6-8 p. 100. On voit encore par les chiffres cités plus haut que la richesse des tubercules en potasse et en acide phosphorique est considérable ; calculée d'après la substance sèche, la teneur des tubercules en potasse est de 1,24 p. 100, tandis que celle des graines est de 1,14 p. 100 ; les tubercules contiennent 1,2 p. 100 d'acide phosphorique, les graines 1,42 p. 100. Nous comprenons donc parfaitement pourquoi le développement complet de la partie souterraine exige une grande quantité d'azote, de potasse et d'acide phosphorique. Or, ce sont précisément là des substances dont l'extraction hors du sol à lupin, qui en possède seulement de faibles doses, doit demander beaucoup de temps ; il ne peut donc être mis à la disposition de la partie aérienne qu'une minime quantité de ces matériaux. Le lupin n'est donc pas inactif pendant cette période de famine, il amasse de quoi satisfaire ses besoins les plus urgents, il agrandit son appareil collecteur en multipliant ses racines et accumule une certaine provision de ces trois substances les plus importantes. Il s'entend de soi que pour ces opérations il a besoin de carbone, et c'est pourquoi il est nécessaire que pendant cette période les organes verts assimilent de l'acide carbonique à la lumière. Nous pouvons bien admettre que les feuilles vertes existant à cette époque ont pour unique tâche de recueillir le matériel en carbone nécessaire à la formation des parties souterraines et que pour cette raison il y en

a seulement autant qu'il en faut pour que cette tâche soit remplie. C'est seulement après que le terrain a été ainsi préparé pour le rôle futur de la plante et qu'il a été pourvu aux besoins de l'avenir que celle-ci entre dans la seconde période de son existence, où ses parties aériennes sont constituées dans un temps relativement court. Mais pour se développer avec une telle rapidité, il faut qu'elle soit déjà pourvue d'un système radiculaire capable d'absorber les quantités d'aliments désormais nécessaires, et qu'elle puisse disposer de la réserve alimentaire contenue dans les tubercules.

Examinons maintenant s'il est possible de tirer de ces observations sur le développement des racines du lupin quelques conclusions relatives à l'absorption de l'azote par la plante. Le fait que ses racines sont formées dans la première moitié de la vie et que la formation de la partie aérienne est reportée dans la seconde, est certainement un indice que la possession d'un système radiculaire complet est une condition indispensable du développement de la tige du lupin. Ce fait pourrait être rattaché à la constitution de l'azote nécessaire à la végétation. On peut faire la même réflexion au sujet des tubercules radicaux et penser qu'ils se forment de bonne heure et emmagasinent de l'azote afin de pouvoir le céder plus tard aux parties aériennes. D'autre part, on pourrait également admettre que, si la racine se développe dans la première moitié de la vie du lupin, ce n'est nullement en vue de l'azote, mais à la seule fin d'emmaganiser de la potasse et de l'acide phosphorique qui sont également nécessaires à la constitution des organes aériens, et qui, pour être absorbées en quantité suffisante, exigent particulièrement dans le sable léger un système radiculaire vigoureux et d'une longue durée. Les tubercules radicaux de leur côté amassent aussi une quantité notable de ces deux substances. Nous ajouterons que, si pour l'absorption de l'azote on peut toujours admettre l'hypothèse de l'intervention des organes aériens, l'acide phosphorique et la potasse sont certainement absorbés dans le sol par les racines. L'azote des racines et des tubercules radicaux du lupin pourrait donc très bien provenir des semences et des composés azotés existants dans le sol, et celui qui se trouve dans les organes aériens, surtout à l'époque de la maturation des fruits, pourrait avoir sa source dans l'atmosphère.

On pourrait encore trouver des indications relatives à la question dont nous nous occupons dans la marche de la nutrition azotée du lupin comparée à la marche du développement de la racine, telle que nous venons de la constater. L'ouvrage de Liebscher[1] nous donne un résumé de ce qui est connu à cet égard. Ce sont les essais de Baessler qui sont le mieux appropriés à notre but, puisqu'ils concernent à la fois l'azote, la potasse et l'acide phosphorique. Voici ce qu'ils nous enseignent : si on exprime par 100 la quantité maximum de la substance contenue dans la plante à la fin de son développement, le lupin, qui a germé au commencement de juin, contient le 19 août, au moment où la tige principale a fleuri, c'est-à-dire à peu près dans la douzième semaine, azote 37,7, potasse 47,0, acide phosphorique 36,6 ; le 3 septembre, au moment de la naissance des gousses, azote 45,2, potasse 55,4, acide phosphorique 43,2 ; le 14 septembre, au moment où les tiges secondaires ont également fleuri, azote 66,9, potasse 77,0, acide phosphorique 62,4; le 24 septembre, à l'époque de la maturité, les trois substances sont chacune = 100. Dans cet essai on a trouvé comme dans le nôtre que la végétation du lupin dure environ 16 semaines. Mais la première indication qu'il donne sur la nutrition de la plante date de la 12e semaine, c'est-à-dire d'une époque qui appartient déjà à la deuxième moitié de la durée de la végétation, et il ne nous fournit aucun renseignement sur la période précédente qui nous intéresse surtout parce qu'elle est à proprement parler celle où la racine se forme. Cet essai montre que les trois substances nommées apparaissent à peu près simultanément dans le lupin, et que la courbe de la nutrition qui jusqu'à la 12e semaine monte très doucement s'élève très rapidement à partir de ce moment. Certainement dans la 12e semaine, où les lupins de Baessler ont été dosés, ces plantes possédaient depuis quelque temps un système radiculaire et des tubercules radicaux à peu près complètement développés. Cependant à cette époque leur teneur en azote ne dépassait guère le tiers de la quantité totale qu'ils contiennent à l'époque de la maturité. Le principal accroisse-

1. *Der Verlauf der Stoffaufnahme und seine Bedeutung für die Düngerlehre*. Berlin, 1888, p. 136. Voir la traduction faite par M. Gerschel dans les *Annales*. Tome I, 1888, p. 25 et suiv.

ment de l'azote dans le lupin a donc lieu dans un temps où il possède non seulement son appareil souterrain complet, mais encore ses organes aériens, car, comme nous le montrent les dosages de Baessler, le tiers de la totalité de l'azote est élaboré du 14 au 24 septembre, à savoir quand la plante est complètement développée et que les gousses n'ont plus qu'à achever leur maturation. Cela nous explique pourquoi les lupins, dont la végétation n'est pas encore très avancée, c'est-à-dire qui n'ont encore ni fleurs, ni fruits, mais qui sont néanmoins déjà pourvus de leur système radiculaire, produisent seulement un faible accroissement en azote. Mais cela ne démontre pas que les racines n'interviennent pas dans cet accroissement, car la potasse et l'acide phosphorique nous offrent exactement les mêmes phénomènes de nutrition ; eux aussi sont d'abord absorbés lentement quoique le système radiculaire soit à peu près complètement formé, et ils arrivent seulement à la plante en quantité plus forte quand les organes aériens ont déjà atteint leur complet développement. Or pour ces deux substances, il est certain que leur absorption a lieu par les racines. Nous voyons par là qu'un système radiculaire, parce qu'il est complet, ne déploie pas pour cela toute son activité ; à une époque ultérieure la même quantité de racines est obligée d'apporter à la nutrition un contingent bien plus fort que dans toutes les périodes antérieures. Il se pourrait donc que l'accroissement de l'absorption de l'azote, qui est la condition indispensable de l'enrichissement en ce principe et qui se manifeste particulièrement vers la fin de la végétation du lupin, fût amené par une activité plus énergique du système radiculaire.

De tout ce que nous venons de dire, il résulte que nos connaissances relatives à la marche de la nutrition du lupin ne nous fournissent aucun renseignement certain sur l'action vitale qui amène la fixation de l'azote libre.

L'hypothèse d'après laquelle les tubercules interviennent dans la fixation de l'azote par les plantes, n'est pas en contradiction avec nos constatations touchant le développement de la racine, car nous avons vu qu'ils se forment en même temps que le système radiculaire, et qu'ils existent au moment où commence à proprement parler l'emmagasinement de l'azote par la plante. Mais leur manière de se

comporter concorde déjà moins avec la marche de la nutrition azotée de la plante du lupin. Ils sont formés très longtemps avant que l'absorption de l'azote atteigne son point culminant, et de ce que nous avons dit plus haut sur les phases de leur existence il ressort que, précisément à l'époque où le lupin s'enrichit le plus en azote, ils sont déjà en train de dépérir et de rétrocéder leurs bactéroïdes si riches en azote. D'ailleurs nous avons vu qu'il y a d'autres raisons pour lesquelles les tubercules radicaux n'ont aucun rapport avec l'aptitude de la plante à fixer de l'azote libre. La première est que les lupins peuvent arriver à leur complet développement sans avoir de tubercules radicaux. En outre, leur présence ne peut pas expliquer l'accroissement de l'azote dans les plantes ; en effet, ils existent seulement chez les légumineuses, tandis que maintenant nous sommes obligés de considérer l'accroissement de l'azote comme une propriété inhérente à la nature végétale, qui se manifeste à un degré plus faible chez les non-légumineuses, mais dont nous avons constaté l'existence même chez les formes végétales vertes inférieures, chez les algues.

Le fait que les algues unicellulaires possèdent également l'aptitude à fixer de l'azote libre pourrait suggérer l'idée que dans ces formes végétales extrêmement simples le processus se présente sous une forme très simple et nullement compliquée. En outre, il pourrait aussi nous faire présumer que, les algues étant constituées uniquement par des cellules chlorophylliennes, les cellules vertes des feuilles des plantes supérieures sont également le siège du processus en question. Mais ce serait là une fausse conclusion. Car les algues étant constituées par une seule cellule, il faut nécessairement que celle-ci concentre en elle tous les processus vitaux répartis ailleurs sur les feuilles, les racines et les autres organes. Mais de ce que divers phénomènes vitaux s'accomplissent dans une seule et même cellule, ils ne sont pas pour cela plus intelligibles et plus faciles à expliquer.

Enfin, il s'entend de soi que la durée de l'activité d'une plante est également un facteur qui influe sur l'emmagasinement de l'azote. Mais la constatation de ce fait n'est nullement une explication du processus, car quelle que soit la nature de ce dernier, son énergie

augmentera nécessairement avec sa durée. Ainsi le lupin doit certainement jusqu'à un certain point son aptitude à produire de l'azote à ce que sa végétation dure plus longtemps que celle de beaucoup d'autres plantes, mais cette longévité n'explique pas sa supériorité à cet égard. Nous sommes obligés de reconnaître en tout cas que les différentes espèces montrent une énergie inégale dans l'assimilation de l'azote. Nous saurons seulement la cause de cette inégalité, quand nous connaîtrons mieux le processus en lui-même et l'organe de la plante dans lequel il est accompli.

CHAPITRE VIII

RÉSULTATS DES RECHERCHES PRÉCÉDENTES

De l'azote élémentaire de l'air atmosphérique est fixé dans l'agriculture. Cette fixation se manifeste par une augmentation de composés azotés dans le sol et par un accroissement de la masse végétale, de sorte qu'étant données certaines conditions les plantes culturales peuvent être alimentées, sans engrais azotés, uniquement au moyen d'azote atmosphérique.

Mais l'azote gagné par ce processus est constamment diminué par les pertes subies en conséquence de processus contraires et simultanés, dans lesquels de l'azote engagé dans des combinaisons redevient libre et retourne à l'atmosphère. Parmi ces derniers il faut compter particulièrement la putréfaction et la décomposition des principes organiques azotés du sol, le dégagement partiel d'azote libre par suite de la réduction de l'azote nitrique dans le sol fermé à l'accès de l'air, et aussi le dégagement inévitable d'une partie de l'azote libre pendant la germination des semences azotées. L'entraînement par l'eau des nitrates du sol, la volatilisation de l'ammoniaque quand on fume avec des sels ammoniacaux ou avec des combinaisons organiques azotées peuvent en outre amener une perte d'azote combiné.

Les procédés employés par la plante pour fixer l'azote ne sont pas encore connus dans leurs détails. Il est certain qu'elle prend une

partie de l'azote qui lui est nécessaire dans les combinaisons azotées qui existent dans le sol, parmi lesquelles les nitrates possèdent la plus grande valeur nutritive. Quant à celui qu'elle puise dans l'air, on en constate seulement la présence quand il apparaît sous forme de substance végétale, surtout de matières protéiques, notamment à l'époque de la maturation des fruits. Nous n'avons trouvé aucune preuve que les racines jouent un rôle spécial dans cette fixation de l'azote atmosphérique. La quantité d'azote entraînée dans des combinaisons atteint seulement son maximum ou dans certains cas devient seulement appréciable, quand la plante est arrivée au stade de son plus grand développement ou à la possession de graines mûres. Voilà pourquoi les physiologistes ont enseigné que la plante, par elle seule, est incapable d'utiliser l'azote libre : ils ont basé cette théorie sur les essais de Boussingault qui a toujours exécuté ses expériences avec des plantes atrophiées, dont les graines ne parvenaient jamais à la maturité normale. Voilà aussi pourquoi l'accroissement de l'azote dans l'agriculture a lieu progressivement, et, pour atteindre un degré considérable, a besoin d'autant de temps qu'il en faut à la plante cultivée pour arriver au dernier stade de la végétation, ou que dans la jachère il en faut aux algues et aux autres cryptogames verts pour germer, se développer et se multiplier.

Il faut admettre que les différentes formes végétales déploient une énergie très inégale dans l'assimilation de l'azote, d'où résulte le gain inégal en azote selon qu'il s'agit de telle ou telle forme végétale. Le résultat le plus faible est atteint dans la jachère où les petites formes végétales opèrent seules. Quand des plantes supérieures interviennent, le résultat est plus grand, et parmi celles-ci ce sont les lupins et probablement encore d'autres légumineuses qui arrivent au résultat le plus élevé. Il s'entend de soi que cette énergie inégale dans l'assimilation de l'azote libre chez les différentes formes végétales correspond à leur teneur très inégale en azote à l'état de maturité, puisqu'une plante ne peut pas produire au delà de ce qu'exige le but que la nature lui a assigné. C'est pourquoi les petites algues emmagasinent beaucoup moins que les plantes supérieures, et que, parmi ces dernières, celles-là emmagasinent le plus, qui d'après les lois de la nature possèdent les semences les plus riches

en azote. Sans doute ce fait est en partie corrélatif de la durée de la végétation chez les différentes formes végétales, mais l'inégalité dans l'énergie de l'assimilation selon les espèces y a probablement aussi sa part.

L'azote combiné acquis sous forme de substance végétale augmente aussi la quantité des combinaisons azotées dans le sol arable, car les résidus des racines et des chaumes, qu'y laissent les plantes supérieures, s'y putréfient et s'y décomposent, et leurs éléments azotés s'y transforment en ammoniaque et en acide nitrique. D'autre part, les cryptogames verts microscopiques, qui meurent après quelque temps et sont remplacés par une nouvelle génération, engraissent le sol et l'enrichissent également en azote. Peut-être dans ces cellules tendres, riches en protoplasma et facilement destructibles, la transformation de la substance en aliments végétaux utilisables est-elle plus rapide que chez les résidus des plantes supérieures qui sont plus durs et se décomposent avec plus de lenteur.

Quelle que soit l'espèce à laquelle les plantes appartiennent, la nature et la constitution du sol influeront sur leur production d'azote. En effet, pour qu'une plante puisse atteindre son plus haut degré de développement, il faut que tous ses besoins soient satisfaits, et beaucoup d'entre eux ne peuvent l'être que si le sol a telles ou telles propriétés. Ainsi nous pouvons seulement espérer qu'une plante culturale produira beaucoup d'azote si par exemple elle trouve dans le sol une quantité suffisante de potasse et d'acide phosphorique. En outre, les dégagements d'azote, dont nous avons parlé plus haut, et qui influent aussi sur le résultat final, varient selon la nature et la constitution du sol. Dans les sols riches en combinaisons organiques, cette déperdition est plus grande que dans les sols légers dépourvus d'humus; elle peut même dépasser l'accroissement en azote que leur procure leur végétation de cryptogames, de sorte qu'à l'état de jachère et même s'ils sont peuplés de phanérogames doués d'une faible aptitude à combiner de l'azote, ils deviennent plus pauvres en ce principe. Les sols sablonneux, au contraire, s'enrichissent en azote par leurs cryptogames, s'ils sont en jachère, et ils s'enrichissent encore davantage par les phanérogames, surtout

si ces derniers fixent une grande quantité d'azote, comme, par exemple, les lupins.

Mais il y a aussi des phénomènes qui apportent à la terre arable, sans la coopération des plantes vivantes, des combinaisons dans lesquelles entre de l'azote libre. Nous citerons particulièrement les composés azotés produits par la foudre, et la transformation de l'azote en acide nitreux et nitrique produite dans les matières terreuses par des terres carbonatées, quand la température est élevée. Mais jusqu'ici il n'est pas prouvé qu'aucun de ces processus contribue dans notre climat pour une part importante au gain d'azote dont bénéficie la culture.

EXPLICATION DES TABLEAUX

TABLEAU I.

Fig. 1. — Appareil pour l'essai de la teneur en azote de la plante pendant la croissance. GG, deux des cloches en verre de 90 centimètres de hauteur, qui sont rangées en cercle et sous lesquelles des plants de haricots croissent dans des cultures dans l'eau, obturées par une plaque de verre *n* et fermées hermétiquement au moyen de mercure. Chaque cloche porte un tube d'entrée *e* et un tube de dégagement *f*. A travers ces tubes, à l'aide d'un aspirateur A qui communique avec eux, on fait passer un courant d'air à travers les cloches. Ce courant d'air passe avant son entrée dans le vase S, rempli de pierre ponce, imbibée d'acide sulfurique. L'air débarrassé de l'ammoniaque passe à travers les cinq tubes de verre *b*, dans chaque cloche. Pour relier hermétiquement ces tubes au flacon laveur S, les extrémités élargies des tubes *b* plongent dans les tubes *c* placés en-dessous et remplis de mercure; cette disposition empêche l'accès de l'air extérieur et permet l'introduction de l'air lavé dans la cloche. Avant le tube *e*, par lequel se fait l'introduction du gaz dans la cloche, il existe une soupape à mercure *d*, qui permet l'amenée du gaz dans la cloche, pendant la durée du fonctionnement de l'aspirateur, mais empêche tout retour de l'air contenu dans la cloche. A la sortie de la cloche par *f*, le gaz aspiré passe d'abord dans un tube de Will et Warrentrap, rempli d'acide chlorhy-

drique, qui enlève au gaz les traces d'ammoniaque qu'il contient. La boule *h* qui forme soupape à mercure, empêche l'introduction de l'air extérieur dans la dissolution d'acide chlorhydrique.

TABLEAU II.

Fig. 2. — Culture parallèle de lupins jaunes dans du sable humique, stérilisé et non stérilisé, du 23 mai au 5 août. — Réduit à 6 1/4.

TABLEAU III.

Fig. 3. — Sable mouvant à l'état naturel, traité par de la diphénylamine, qui offre des taches de coloration bleue. — Grossissement : 350 fois.

Fig. 4. — Grains du sable mouvant traité après calcination par la diphénylamine, qui ne présentent pas de taches bleues; mais la matière dissoute de ces grains par le nitrate, est colorée en bleue. — Grossissement : 350 fois.

Fig. 5. — Un grain du même sable mouvant, traité par l'acide sulfurique bouillant qui détruit le nitrate, apparaît recouvert de petits cristaux de gypse. — Grossissement : 350 fois.

Fig. 6. — Un échantillon de poils radicaux de lupin jaune, peu de temps après la germination dans le sable fin, traité par la diphénylamine, offre une coloration bleue des petites particules de terre adhérentes aux parties extérieures. — Grossissement : 350 fois.

Fig. 7. — Un échantillon de poils radicaux de lupin jaune, traité par la diphénylamine, à l'époque de la floraison dans le sable fin, offre une forte coloration bleue des petites particules de terre adhérentes aux parties extérieures. — Grossissement : 350 fois.

TABLEAU IV.

Fig. 8. — Représente le développement des parties aérienne et souterraine du lupin jaune dans le sol siliceux (sableux) dans les quatrième, huitième, et quatorzième semaines de la germination. Les figures qui représentent les racines des plantes crues dans les cases d'essais d'un mètre de profondeur et dessinées sur le vitrage oblique de 10 en 10 centimètres.

(Traduit de l'allemand par M. le Professeur GERSCHEL.)

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES

SUR

L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT

Par L. GRANDEAU et A. LECLERC

QUATRIÈME PARTIE[1]

EXPÉRIENCES D'ALIMENTATION AVEC L'AVOINE

(1re SÉRIE)

Ces expériences ont eu pour but de déterminer la valeur nutritive de l'avoine :

1° Lorsqu'elle est donnée seule au cheval ;

2° Lorsqu'elle est consommée en même temps que la paille d'avoine.

Ces recherches comportent donc deux séries d'expériences. Nous avons commencé par l'étude relative à l'alimentation avec l'avoine seule, et nous avons terminé par l'alimentation avec l'avoine mélangée de paille. Pour chacun de ces essais nous avons suivi le plan général qui avait été adopté dans nos expériences antérieures. (Voir 1er mémoire, *loc. cit.*).

---

1. Voir *Études expérimentales sur l'alimentation du cheval de trait.* 1er mémoire, in-4°, 152 pages et 6 planches. — *Id.* 2e mémoire, in-4°, 203 pages et 12 planches. Berger-Levrault et Cie. 1882-83. — *Id.* 3e mémoire, voir les *Annales,* t. II, 1886, p. 351 et suiv., avec 11 planches.

1[re] SÉRIE. — ALIMENTATION AVEC L'AVOINE SEULE.

Cette partie du programme n'était pas sans présenter quelque danger. En effet, les nombreuses personnes qui prétendent, à tort ou à raison, que l'avoine est l'aliment indispensable du cheval, disent aussi qu'avec l'avoine seule on ne peut nourrir cet animal. Il nous importait d'examiner de près cette opinion, c'est-à-dire de rechercher ce que devient le cheval qui est maintenu au régime de l'avoine seule. Il nous paraissait d'autant mieux possible de nourrir le cheval exclusivement avec l'avoine que dans nos essais antérieurs de 1884-1885 nous avions pu faire consommer sans accident des rations dont le volume avait varié de 10 litres à 136 litres. (Voir 3[e] mémoire, mélange de grains consommés seuls du 1[er] février au 15 mars 1885.) On pouvait objecter que l'essai de 1885 n'avait eu qu'une durée de 43 jours et qu'on n'aurait pu le prolonger indéfiniment. Bref, des considérations de diverses natures justifiaient la tentative que nous nous proposions de faire.

Des chevaux d'expériences.

Les essais dont il s'agit ont porté sur trois chevaux, savoir :

1°	Cheval n° 1.	N° matricule	30 845.	Age : 9 ans.	Hongre.	Du dépôt	de Canal.
2°	— n° 2.	—	31 930.	— 8 ans.	—	—	de Chemin-Vert.
3°	— n° 3.	—	30 334.	— 7 ans.	—	—	de Belleville.

Le cheval n° 1 (30 845) avait déjà servi pour les expériences faites antérieurement sur le foin.

Les chevaux n[os] 2 et 3 étaient des chevaux neufs.

Durant les essais, le cheval n° 1 est mort d'une affection cardiaque ; il a été remplacé par le cheval n° 1, n° matricule 29 662, du dépôt de Campagne.

Régime de transition.

Les chevaux ont d'abord été soumis au régime alimentaire de transition ayant pour but de les faire passer de l'alimentation mixte des dépôts à l'alimentation à l'avoine seule. Ce régime de transition

a duré 25 jours. La transition a été opérée de la façon indiquée dans le tableau suivant :

1885. — Novembre.	CHEVAL N° 1 (30 845).		CHEVAL N° 2 (31 930).		CHEVAL N° 3 (30 334).	
	Mélange.	Avoine.	Mélange.	Avoine.	Mélange.	Avoine.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
1	8,000	»	8,000	»	8,000	»
2	7,600	0,300	7,600	0,200	7,600	0,200
3	7,200	0,600	7,200	0,250	7,200	0,250
4	6,800	0,900	6,800	0,500	6,800	0,500
5	6,400	1,200	6,400	0,750	6,400	0,750
6	6,000	1,500	6,000	1,000	6,000	1,000
7	5,600	1,800	5,600	1,250	5,600	1,250
8	5,200	2,100	5,200	1,500	5,200	1,500
9	4,800	2,400	4,800	1,750	4,800	1,700
10	4,400	2,700	4,400	2,000	4,400	1,900
11	4,000	3,000	4,000	2,250	4,000	2,100
12	3,600	3,300	3,600	2,500	3,600	2,300
13	3,200	3,600	3,200	2,750	3,200	2,500
14	2,800	3,900	2,800	3,000	2,800	2,700
15	2,400	4,200	2,400	3,250	2,100	2,900
16	2,000	4,500	2,000	3,500	2,000	3,100
17	1,800	4,800	1,800	3,750	1,800	3,300
18	1,600	5,100	1,600	4,000	1,600	3,500
19	1,400	5,400	1,400	4,250	1,400	3,700
20	1,200	5,700	1,200	4,500	1,200	3,900
21	1,000	6,000	1,000	4,750	1,000	4,100
22	0,800	6,300	0,800	5,000	0,800	4,300
23	0,600	6,600	0,600	5,250	0,600	4,500
24	0,400	6,900	0,100	5,500	0,400	4,700
25	0,200	7,200	0,200	5,500	0,200	4,900
26	»	7,500	»	5,500	»	5,000

Pendant la durée de la période transitoire, les chevaux ont été maintenus au repos ; par mesure hygiénique, ils faisaient seulement chaque jour une promenade d'une demi-heure au pas.

Aussitôt arrivés à la ration de l'avoine seule, le cheval n° 1 fut mis au travail au manège au pas, le cheval n° 2 à la marche au pas et le cheval n° 3 resta au repos.

La ration du travail était fixée à	7^{kg},500	d'avoine.
Celle de marche au pas à	5 ,500	—
Celle de repos à.	5 ,000	—

Le mois de novembre 1885 n'a servi qu'à entraîner les chevaux ;

en réalité les expériences n'ont commencé que le 1er décembre 1886. A ce moment :

Le cheval n° 1 (30 845) recevait 7kg,500 d'avoine et travaillait au manège au pas ;
— n° 2 (31 930) — 5 ,500 — et marchait — —
— n° 3 (30 334) — 5 ,000 — et était maintenu au repos.

Afin de préciser les conditions dans lesquelles les essais ont été faits, il est nécessaire d'indiquer dès maintenant les observations journalières auxquelles la santé des chevaux a donné lieu. Dans le résumé suivant, l'ordre mensuel a été suivi.

Résumé des observations journalières.

MOIS DE DÉCEMBRE 1885.

Cheval n° 1 (30 845).

Le 2. L'urine recueillie est très limpide et a une réaction acide.
Le 5. Commencement d'entérite. On donne 50 grammes de sulfate de soude dans la boisson.
Le 6. Entérite. On donne 50 grammes de sulfate de soude.
Le 7. Entérite. On donne 100 grammes de sulfate de soude et 50 grammes de sel gris.
Le 8. Le cheval ne mange pas.
Le 16. Le cheval ne reçoit que 2 kilogr. d'avoine.
Le 21. La ration de 7kg,500 est supprimée.
Le 23. On donne 100 grammes de sulfate de soude.
Le 24. On donne 100 grammes de sulfate de soude.
Le 25. La ration de 7kg,500 est supprimée.
Le 27. On donne 100 grammes de sulfate de soude.
Le 28. La ration de 7kg,500 est supprimée.
Le 31. La ration de 7kg,500 est supprimée et on donne 100 grammes de sulfate de soude.

Cheval n° 2 (31 930).

Le 1er. L'urine est limpide et acide.
Le 7. Le cheval mange la farine et laisse les balles.
Le 8. Le cheval mange la farine et laisse les balles.
Le 15. La ration est supprimée. Le cheval reçoit le soir 150 grammes de sulfate de soude.

Le 16. Le cheval est laissé au repos et n'a reçu que 2 kilogr. d'avoine.

Le 17. Température, 39°35.

A 10 heures. Lavement avec 150 grammes de sulfate de soude.

A 11 heures. Il reçoit 5 milligr. (10 granules) d'aconitine.

A 1 heure. Il reçoit 10 granules d'aconitine avec 1 litre d'infusion de camomille.

A 5 heures. Lavement avec 150 grammes de sulfate de soude et 100 milligr. de phénol.

Le 18. A 8 heures du matin. Température, 40°30. Donné 10 granules d'aconitine avec son mouillé.

A 10 h. 30. Lavement de 150 grammes de sulfate de soude et 200 milligr. de phénol.

A 11 heures. Donné 10 granules d'aconitine (5 milligr.) avec son.

A 12 h. 30. Température, 39°2.

A 2 heures. Donné 10 granules d'aconitine.

A 4 h. 30. Température, 40°2.

A 5 heures du soir. Donné 10 granules d'aconitine.

A 5 h. 30. Lavement de farine de lin avec 200 milligr. de phénol.

On lui donne de l'avoine non broyée (aplatie) qu'il mange pendant la nuit.

Le 19. A 8 heures. Température, 38°95.

On donne à volonté de l'avoine non broyée et on coupe la boisson avec du son.

A 4 h. 30. Température, 39°80.

A 5 heures. Lavement de farine de lin avec 200 milligr. de phénol.

A 5 h. 30. Donné 10 granules (5 milligr.) d'aconitine.

Le 20. Température à 7 heures du matin, 38°80.

Le 21. Température à 7 heures du matin, 38°60.

Le 22. Température à 7 heures du matin, 38°50. Mange peu.

Le 23. Température à 7 heures du matin, 38°40. Mange peu.

Le 24. Température à 7 heures du matin, 38°70. Le cheval n'a pas de maladie organique. Le vétérinaire prescrit 50 centimètres cubes d'alcool et 20 milligr. de strychnine, cette dernière en deux fois.

A 5 heures du soir. On donne dans l'eau dégourdie 50 centimètres cubes d'alcool et 10 milligr. de strychnine.

Le 25. Température à 7 heures du matin, 38°65. Dans l'eau on donne 50 centimètres cubes d'alcool et 10 milligr. de strychnine.

Le 26. Température, 38°65. N'a mangé que 2^{kg},360 d'avoine.

Le 27. Température, 38°45. N'a mangé que 2^{kg},230 d'avoine et a reçu 50 centimètres cubes d'alcool et 10 milligr. de strychnine.

Le 28. Ce cheval ne mange pas. Il reçoit 50 centimètres cubes d'alcool et 10 milligr. de strychnine.

Le 29. Température, 38°65. Il mange 2kg,210 d'avoine non concassée et reçoit 25 centimètres cubes d'alcool et 5 milligr. de strychnine.
Le 30. Température, 38°75. Il mange 1 kilogr. d'avoine non concassée.
Le 31. Température, 38°60. Il mange 900 grammes d'avoine non aplatie. Lavement de farine de lin.

Cheval n° 3 (30 334).

Le 3. L'urine est acide.
Le 7. Le cheval mange les balles d'avoine et laisse la farine.
Le 16. Donné 150 grammes de sulfate de soude.
Le 17. Le cheval boite.
Le 18. Le cheval boite ; on enlève le fer.
Le 19. Le cheval sans fer ne boite plus.
Le 22. Referré.
Le 23. Donné 50 grammes de sulfate de soude.
Le 24. Donné 100 grammes de sulfate de soude.
Le 28. La ration est supprimée.
Le 31. La ration est supprimée. Donné 100 grammes de sulfate de soude.

Ce cheval a rendu avec les fèces une sorte de fausse membrane que le vétérinaire dit être de la fibrine. Desséchée, elle pesait 1gr,500. Elle contenait 6 p. 100 d'azote et était très riche en graisse fluide. Elle était très soluble dans la potasse à chaud.

MOIS DE JANVIER 1886.

Cheval n° 1 (30 845).

Ce cheval est à la marche au manège, au pas, avec une ration de 5kg,500 d'avoine.

Le 4. Il reçoit un lavement avec 100 grammes de sulfate de soude.
Le 7. Il reçoit 100 grammes de sulfate de soude dans la boisson.
Le 14. Les crottes sont dures et sèches, quelques-unes sont tachées de sang.
À 9 h. 30. Lavement de farine de lin et de sulfate de soude.
Le 15. La conjonctive est jaune. Entérite aiguë. Diète. Paille. Lavement avec sulfate de soude. Purge de 500 grammes de sulfate de soude. Emplâtres de moutarde après lavage à l'alcool camphré. Température, 38°25.
Le 16. Température à 7 heures du matin, 38°15. On a donné :
À 9 heures. Lavement avec 200 grammes de sulfate de soude.

A 9 h. 30. Purge de 500 grammes de sulfate de soude dissous dans 2000 grammes d'eau. Barbotage de son.

A 5 heures du soir. Lavement de 100 grammes de sulfate de soude et de 500 milligr. de phénol.

Le 17. Température à 7 heures du matin, 40°2. Le cheval est maintenu au repos. On a donné : 10 granules d'aconitine, puis 200 grammes de sulfate de soude en lavement. 5 milligr. d'aconitine à 10 heures dans 5 centimètres cubes d'alcool à 85°.

Température à midi, 39°5.

A 5 heures du soir. Lavement de 200 grammes de sulfate de soude et 500 milligr. de phénol.

Le 18. Température à 7 heures du matin, 39°60. Le cheval est maintenu au repos. On a donné : 5 milligr. d'aconitine dissous dans 5 centimètres cubes d'alcool.

A 8 h. 30. 200 grammes de sulfate de soude et 500 milligr. de phénol en lavement.

A 10 h. 30. 5 milligr. d'aconitine dissous dans 5 centimètres cubes d'alcool à 85° avec du son mouillé.

A midi. 50 centimètres cubes d'alcool à 85° dans 3/4 de litre d'eau.

A 5 heures du soir. 5 milligr. d'aconitine dissous dans 5 centimètres cubes d'alcool.

A 5 h. 30. Lavement de 200 grammes de sulfate de soude avec 500 milligr. de phénol et pour la nuit un mélange de paille hachée et d'avoine non broyée.

Le 19. Température à 7 heures du matin, 39°05. On donne matin et soir un lavement de 200 grammes de sulfate de soude et 500 milligr. de phénol.

Le 20. Température à 7 heures du matin, 39°35.

A 9 heures. Lavement de 200 grammes de sulfate de soude et 500 milligr. de phénol.

A midi. En boisson 400 grammes de sulfate de soude.

Température à 5 heures du soir, 40°. Lavement de 200 grammes de sulfate de soude et 500 milligr. de phénol. On fait prendre aussi 1 gramme de sulfate de quinine et 5 milligr. d'aconitine.

Le 21. Température à 7 heures du matin, 40°30.

A 9 heures. On donne 5 milligr. d'aconitine.

Le vétérinaire visite le cheval à 4 heures du soir. Sa température est de 41°. Les crottes sont de bon aspect, le cheval n'a plus d'entérite. Examen prolongé du cheval : Pouls veineux. Diagnostic : endocardite ou péricardite ; probablement les deux. Ordonnance : Sachet d'avoine chaude sur les reins ; moutarde sinapisme aux quatre membres. Donner en électuaire dans du

miel : une cuillerée à bouche d'essence de térébenthine ; 5 milligr. de teinture de digitale du Codex et 10 grammes de bicarbonate de soude.

Faire un masch.

A 5 heures. On donne l'électuaire. Aussitôt le cheval est pris d'une crise violente qui dure quelques minutes. Elle est suivie bientôt de trois grandes, puis de deux faibles et enfin d'une dernière très forte dans laquelle le cheval meurt à 5 h. 40.

L'autopsie de ce cheval, faite le 22 janvier, confirme le diagnostic. Il y a eu endocardite et péricardite. Très peu de fibrine dans le ventricule droit, beaucoup dans le ventricule gauche. Le volume du liquide du péricarde était d'environ 2 litres ; liquide très chargé d'albumine. L'entérite avait disparu. (Rapport d'autopsie du vétérinaire.)

La fibrine extraite des ventricules est très chargée d'une graisse ou huile qui ne se fige pas à 15°. Sur 8gr,470 de fibrine desséchée on a extrait par le sulfure de carbone 2gr,925 de graisse aisément saponifiable. Dans le résidu insoluble de 5gr,545 on a dosé l'azote qui s'y trouvait dans la proportion de 13.80 p. 100.

Le cheval mort n'a été remplacé que le 6 mars par le cheval n° 29662 du dépôt de Campagne. Celui-ci a été entraîné comme le cheval n° 2 l'avait été en novembre 1885.

Cheval n° 2 (31930).

Ce cheval était déjà malade en décembre 1885.

Le 1er. Il ne mange pas. Lavement avec 100 grammes de soude et 400 milligr. de phénol.

Le 2. Ne mange pas. Il reçoit 10 milligr. de strychnine et 50 centimètres cubes d'alcool.

Le 3. On lui présente de la paille qu'il mange.

A 11 heures. 10 granules d'aconitine (5 milligr.).

A 5 heures. 10 milligr. de strychnine et lavement de 100 grammes de sulfate de soude et 400 grammes de phénol.

Le 4. Ne mange plus de paille mais accepte du foin. Lavement de 100 grammes de sulfate de soude et 100 milligr. de phénol le matin.

10 milligr. de strychnine à midi et lavement à l'eau tiède le soir.

Le 6. Se couche après sa promenade. Efforts de défécations inutiles. Mis

à la diète. Insensibilité des lombes ; friction lombaire à l'alcool camphré et sinapisme lombaire et aux canons pour la nuit.

Le 7. Le cheval est mieux. Barbotage de son avec 200 grammes de sulfate de soude. Il reçoit : paille d'avoine.

Le 8. Le cheval est en bon état. Sensibilité et souplesse des reins. Le vétérinaire prescrit de donner chaque matin, pendant 5 jours, 10 grammes de bicarbonate de soude.

Le 23. Ne mange pas. Difficulté d'uriner. Se couche fréquemment. On lui donne 10 grammes de nitrate de potasse pur.

Le 24. Ne mange pas le matin.

Le 25. Na pas reçu de ration d'avoine.

Le 31. N'a pas reçu de ration d'avoine.

Cheval n° 3 (30 334).

Ce cheval s'est bien comporté pendant tout le mois. Par mesure de précaution on lui a donné dans la boisson :

Le 6. 200 grammes de sulfate de soude.

Le 16. 100 grammes de sulfate de soude.

MOIS DE FÉVRIER 1886.

Cheval n° 1 (30 845).

Le cheval n° 1 (30 845) qui est mort le 21 janvier, n'ayant pas été remplacé immédiatement, il n'y a eu aucune observation à faire sur ce n° 1 pendant le mois de février 1886.

Cheval n° 2 (31 930).

Le cheval n° 2, qui est maintenu, du 1er au 15 février inclus, à la marche au manège au pas, et dès le 16 février au travail au manège au pas, n'a présenté aucun fait intéressant à noter pendant ce mois de février.

Cheval n° 3 (30 334).

Ce cheval n'a présenté aucun fait saillant à noter du 1er au 28 février 1886.

MOIS DE MARS 1886.

Cheval n° 1 (29662).

Le cheval n° 1 (29662) qui a remplacé le cheval n° 1 (30845) mort le 21 janvier 1886, n'est entré au laboratoire que le 6 mars. Du 6 au 31 mars, il est soumis au régime de transition comme l'a été le cheval n° 2 en novembre 1885 (voir le tableau du régime de transition qui a été précédemment donné). Toutefois, il arrive à la ration d'avoine seule, de $5^{kg},500$ dès le 26 mars.

Cheval n° 2 (31930).

Le 1er. Ce cheval continue à être maintenu au travail ; mais le 6 mars il tombe malade. Il est tiqueur à l'appui.

A 7 heures du matin, sa température était 38°95.

A 11 h. 30, sa température était 40°30.

A 4 heures du soir, sa température était 40°20. Il est mis à la diète à la paille d'avoine seule. Il reçoit : 1 sinapisme sur la région du cœur, un barbotage au sulfate de soude, 10 grammes de bicarbonate de soude, un lavement de graines de lin, et, mélangés en deux fois, 20 milligr. de digitaline et 10 milligr. d'arséniate de strychnine.

Le 7. A 7 heures du matin, température 38°35. Il reçoit : 20 milligr. de digitaline, 10 milligr. d'arséniate de strychnine, mélangés en deux fois, et un lavement de 200 grammes de sulfate de soude.

Le 8. A 7 heures du matin, température 38°40. Il reçoit comme la veille : 20 milligr. de digitaline et 10 milligr. d'arséniate de strychnine. Il mange de la paille d'avoine.

Le 9. A 7 heures du matin, température 38°60. Il reçoit 10 milligr. d'arséniate de strychnine. Il mange $3^{kg},500$ de mélange et 5 kilogr. de paille d'avoine.

Le 10. Il mange $3^{kg},500$ de mélange et $4^{kg},500$ de paille d'avoine.

Le 11. Il mange 4 kilogr. de mélange et 5 kilogr. de paille d'avoine.

Le 12. Il mange $4^{kg},500$ de mélange et 5 kilogr. de paille d'avoine.

Le 13. Il mange 5 kilogr. de mélange et 5 kilogr. de paille d'avoine.

Le 14. Il mange 5 kilogr. d'avoine et 5 kilogr. de paille.

Le 15. Il mange 5 kilogr. d'avoine et 5 kilogr. de paille.

Le 16. Il mange 5 kilogr. de foin et 5 kilogr. d'avoine.

Le 17. Il mange 5 kilogr. de foin et 5 kilogr. d'avoine.

Le cheval est revenu en bonne santé et reçoit cette dernière ration journalière jusqu'au 27 mars, date à laquelle il est changé.

Il est remplacé le 28 mars par le nº 32573 qui venait d'avoir une très forte fluxion de poitrine.

Le 31 mars, on s'aperçoit que ce cheval tique en l'air. C'est donc un cheval qui n'était pas convenable pour les expériences. Il est maintenu au repos et entraîné comme le cheval nº 3 l'avait été en novembre 1885, de façon à recevoir le 18 avril de l'avoine seule pour toute nourriture.

Cheval nº 3 (30334).

Pendant tout le mois de mars, ce cheval est resté à la marche au pas. Voici les faits notés pendant ce mois :

Le 8. Il reçoit en boisson 150 grammes de sulfate de soude.
Le 11. Il ne mange que 3^{kg},200 d'avoine.
Le 12. — 3 ,600 —
Le 13. — 3 ,000 —
Le 14. — 3 ,200 —
Le 15. — 3 ,770 —
Le 16. — 2 ,930 —
Le 17. — 2 ,610 —
Le 18. — 2 ,200 —
Le 21. Il a le corps thyroïde gonflé. Emplâtre de moutarde. Lavement et barbotage au sulfate de soude.
Le 22. Sinapisme. Lavement et barbotage. Onguent mercuriel.
Le 23. Le cheval est guéri.

MOIS D'AVRIL 1886.

Cheval nº 1 (29662).

Ce cheval est mis au travail au manège au pas dès le 5 avril jusqu'au 5 mai. Il travaille tout le mois d'avril sans aucun accident et n'a donné lieu à aucune remarque.

Cheval nº 2 (32573).

Ce cheval n'est arrivé à la ration d'avoine seule que le 18 avril. Il n'a présenté pendant ce mois d'autre fait important à noter que celu

qui a déjà été signalé dans le mois précédent, à savoir que ce cheval est tiqueur.

Cheval n° 3 (30334).

Le cheval n° 3, mangeant de moins en moins, sa ration est réduite à 3^{kg},500 par jour dès le 5 avril. Le 11 avril, elle est portée à 4 kilogr. et du 3 avril au 5 mai elle est de 4^{kg},500.

Ce cheval n'a présenté aucun fait saillant à noter.

MOIS DE MAI 1886.

(*Cheval n° 1 (29662).*

Ce cheval n° 1, qui reçoit chaque jour 5 kilogr. d'avoine, commence à boiter, le 18 mai, du train postérieur. Le 19 et le 20 mai il est laissé au repos. Le 21, il continue son service de marche au manège au pas.

Cheval n° 2 (32573).

Ce cheval n° 2, qui travaille au manège au pas et reçoit par jour 5^{kg},500 d'avoine, boite le 19 mai et est laissé au repos. Friction des canons avec vinaigre et brique pillée.

Le 20. On fait les mêmes frictions. Repos.
Le 21. On fait les mêmes frictions. Repos.
Le 22. Le cheval travaille le matin seulement.
Le 23. Le cheval travaille le matin seulement.
Le 24. La ration est supprimée. Il travaille. Blessé par le collier.
Le 25. La boiterie persiste. Repos.
Le 26. Vu la persistance de l'inflammation des articulations postérieures, le vétérinaire ordonne de faire travailler le cheval malgré la boiterie.

Cheval n° 3 (30334).

Durant tout ce mois, le cheval n° 3 n'a présenté aucun symptôme de maladie, ni aucun fait particulier à noter.

MOIS DE JUIN 1886.

Cheval n° 1 (29662).

Pendant ce mois, le cheval n° 1 n'a présenté aucun fait important à noter.

Cheval n° 2 (32 573).

Ce cheval avait commencé à boiter dès le 18 mai, et depuis le 26 mai, malgré la boiterie, on faisait travailler le cheval sur l'ordre du vétérinaire.

Du 7 au 12. Ce cheval travaille le matin seulement, au pas.
Le 8. L'inflammation est diminuée.
A partir du 12 juin, le cheval n° 2 travaille au manège au trot.
Le 13. La ration est supprimée.
Le 15. La ration est supprimée.
Le 17. Température à 7 heures du matin, 39°20
A 3 h. 30 du soir, 38°80. Travaille le matin seulement. Au repos le soir. Boulet postérieur gauche enflé.
Le 18. Température à 6 heures du matin, 39°35. Ce cheval meurt à 7 heures du matin.

A l'autopsie : Entérite suraiguë. Rétrécissement considérable de l'intestin grêle. (Rapport d'autopsie du vétérinaire.)

Cheval n° 3 (30 334).

Ce cheval, pendant ce mois, n'a montré aucun symptôme de maladie. On n'a eu à constater chez lui qu'une diminution progressive du poids vif en même temps qu'une ingestion d'avoine de plus en plus faible. Voici les poids d'avoine consommés par ce cheval dans les derniers jours de ce mois.

Le 21. 3 510 grammes d'avoine.
Le 22. 2 550 —
Le 23. 2 780 —
Le 24. 3 720 —
Le 25. 2 720 —
Le 26. 2 820 —
Le 27. 2 970 —
Le 28. 2 340 —
Le 29. 4 500 —
Le 30. 3 170 —

Par ce qui précède, on voit que divers accidents sont venus troubler fréquemment le cours des expériences. Pour ne pas perdre le

bénéfice de ces dernières, on a dû faire commencer et finir les essais à des dates irrégulières qui étaient imposées par l'état de santé des chevaux. Ainsi, le premier mois d'expérience va du 1er au 31 décembre inclus pour les trois chevaux ; le deuxième mois, pour les chevaux nos 2 et 3, va du 15 janvier au 15 février 1886 ; le troisième mois d'essai, pour les chevaux nos 1 et 3, va du 5 avril au 5 mai 1886 ; le quatrième mois va, pour les trois chevaux, du 12 mai au 12 juin 1886 ; enfin le cinquième essai comprend la période du 21 au 30 juin 1886 pour les chevaux n° 1 et n° 3.

Ainsi durant ces mois, c'est-à-dire du 26 novembre 1885 au 30 juin 1886, les chevaux, pour toute nourriture, n'ont reçu que de l'avoine grossièrement concassée.

Les conditions dans lesquelles les expériences ont été faites étant bien établies, il nous reste à indiquer les quantités d'avoine qui ont été ingérées.

MOIS DE DÉCEMBRE 1885.

Cheval n° 1. — Du 1er au 31 décembre, ce cheval a reçu 197 kilogr. d'avoine dosant 13.19 p. 100 d'eau, soit 171kg,016 de matière sèche ; et il a laissé 19kg,970 d'avoine dosant 14.50 p. 100 d'eau, soit 17kg,075 de matière sèche.

Cheval n° 2. — Du 1er au 16 décembre inclus, ce cheval a reçu 79 kilogr. d'avoine dosant 13.19 p. 100 d'eau, soit 68kg,580 de matière sèche ; et il a laissé 2kg,060 d'avoine dosant 18.10 p. 100 d'eau, soit 1 687 grammes de matière sèche.

Cheval n° 3. — Du 1er au 31 décembre, ce cheval a reçu 145 kilogr. d'avoine dosant 13.19 p. 100 d'eau, soit 125kg,875 de matière sèche ; et il a laissé 960 grammes d'avoine dosant 26.30 p. 100 d'eau, soit 708 grammes de matière sèche.

MOIS DE JANVIER 1886.

Cheval n° 1. — Ce cheval est mort d'une maladie de cœur. Essai interrompu.

Cheval n° 2. — Du 15 janvier au 15 février, ce cheval a reçu 130 kilogr. d'avoine dosant 14.66 p. 100 d'eau, soit 110kg,942 de matière sèche ; il a laissé 8kg,110 d'avoine dosant 17.30 d'eau p. 100, soit 6kg,707 de matière sèche.

Cheval n° 3. — Du 15 janvier au 15 février, ce cheval a reçu 170kg,5 d'avoine dosant 14.66 p. 100 d'eau, soit 145kg,505 de matière sèche ; il

a laissé 37^{kg},4 d'avoine dosant 16.88 p. 100 d'eau, soit 31^{kg},087 de matière sèche.

MOIS D'AVRIL-MAI 1886 (du 5 avril au 5 mai 1886).

Cheval n° 1. — Du 5 avril au 5 mai, ce cheval a reçu 155 kilogr. d'avoine dosant 14.20 p. 100 d'eau, soit 132^{kg},990 de matière sèche ; il a laissé 28 kilogr. d'avoine dosant 11.78 p. 100 d'eau, soit 24^{kg},707 de matière sèche.

Cheval n° 2. — Ce cheval est au régime de transition.

Cheval n° 3. — Du 5 avril au 5 mai, ce cheval a reçu 132^{kg},5 d'avoine dosant 14.20 p. 100 d'eau, soit 113^{kg},685 de matière sèche ; il a laissé 18 kilogr. d'avoine dosant 12.30 p. 100 d'eau, soit 15^{kg},786 de matière sèche.

MOIS DE MAI-JUIN 1886.

Cheval n° 1. — Du 12 mai au 11 juin, ce cheval a reçu 155 kilogr. d'avoine dosant 15.26 p. 100 d'eau, soit 131^{kg},347 de matière sèche ; il a laissé 21^{kg},970 d'avoine dosant 15.07 p. 100 d'eau, soit 19^{kg},619 de matière sèche.

Cheval n° 2. — Du 12 mai au 11 juin, ce cheval a reçu 165 kilogr. d'avoine dosant 15.26 p. 100 d'eau, soit 139^{kg},821 de matière sèche; il a laissé 49^{kg},600 d'avoine dosant 14.87 p. 100 d'eau, soit 42^{kg},225 de matière sèche.

Cheval n° 3. — Du 12 mai au 11 juin, ce cheval a reçu 139^{kg},5 d'avoine dosant 15.26 p. 100 d'eau, soit 118^{kg},213 de matière sèche ; il a laissé 11^{kg},070 dosant 15.77 p. 100 d'eau, soit 9^{kg},383 de matière sèche.

MOIS DE JUIN 1886.

Cheval n° 1. — Du 21 au 30 juin, ce cheval a reçu 50 kilogr. d'avoine dosant 14.40 p. 100 d'eau, soit 42^{kg},800 de matière sèche ; il a laissé 12^{kg},680 dosant 12.30 p. 100 d'eau, soit 11^{kg},121 de matière sèche.

Cheval n° 2. — Ce cheval est mort d'une entérite suraiguë. Expérience interrompue.

Cheval n° 3. — Du 21 au 30 juin, ce cheval a reçu 45 kilogr. d'avoine à 14.40 p. 100 d'eau, soit 38^{kg},520 de matière sèche ; il a laissé 13^{kg},770 d'avoine dosant 13.70 p. 100, soit 11^{kg},884 de matière sèche.

Voici maintenant, dans les tableaux suivants, les résultats généraux qui ont été obtenus :

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 30845.)

DATE. — Novembre 1885.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des feces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	412,0	»
4	3680	6180	650	10510	»	»	»	»	»	411,2	»
5	6640	1320	»	7960	»	»	»	»	»	411,5	»
6	8580	1710	1310	11600	»	»	»	»	»	411,5	»
7	12390	640	1670	14700	»	»	»	»	»	413,2	»
8	7740	7540	1910	17190	»	»	»	»	»	412,3	»
9	10560	2040	5180	17780	»	»	»	»	»	413,5	»
10	2250	6980	1520	10750	»	»	»	»	»	410,4	»
11	12560	»	5040	17600	»	»	»	»	»	413,5	»
12	10870	3950	1110	15930	»	»	»	»	»	412,2	38 25
13	5960	5890	»	11850	»	»	»	»	»	412,3	38 45
14	7070	6490	1740	15300	»	»	»	»	»	410,5	38 35
15	7390	3810	2930	14130	»	»	»	»	»	410,3	38 50
16	6370	5740	910	13020	»	»	»	»	»	411,2	38 25
17	6780	5520	»	12300	»	»	»	»	»	411,3	38 35
18	4050	8390	»	12440	»	»	»	»	»	412,1	38 40
19	5210	4930	5190	15330	»	»	»	»	»	413,3	38 35
20	1040	7290	»	8330	»	»	»	»	»	411,6	38 65
21	8850	»	1170	10020	»	»	»	»	»	414,2	38 95
22	2920	3670	1250	7840	»	»	»	»	»	413,2	38 85
23	3960	5560	440	9960	»	»	»	»	»	412,2	38 80
24	3650	2540	4330	10520	»	»	»	»	»	414,4	38 90
25	1790	6030	920	8740	»	»	»	»	»	414,2	38 75
26	3130	3620	3380	10130	»	»	»	»	»	413,3	38 95
27	3440	2960	1870	8270	»	»	»	»	»	413,5	38 85
28	860	3510	»	4370	»	»	»	»	»	411,1	38 80
29	3040	1590	»	4630	»	»	»	»	»	407,4	38 90
30	8110	810	1130	10050	»	»	»	»	»	411,2	38 85

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 2.
(Numéro matricule 31930.)

DATE — Novembre 1885.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des feces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	438,5	»
3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	422,2	»
4	3740	6830	»	10570	»	»	»	»	»	418,3	»
5	2280	3610	1310	7230	»	»	»	»	»	412,3	»
6	5730	7320	1870	14920	»	»	»	»	»	412,5	»
7	6660	5930	1650	14240	»	»	»	»	»	412,5	»
8	8450	5260	1820	15530	»	»	»	»	»	411,3	»
9	10640	7070	2880	20590	»	»	»	»	»	411,2	»
10	4650	6730	4460	15810	»	»	»	»	»	414,9	»
11	7670	6080	790	14540	»	»	»	»	»	414,5	»
12	6830	6960	1150	14910	»	»	»	»	»	415,0	38 25
13	7180	5090	»	12270	»	»	»	»	»	414,4	38 15
14	8370	6660	1750	16780	»	»	»	»	»	416,0	38 15
15	4940	6540	5110	16590	»	»	»	»	»	416,4	38 15
16	6710	6840	3320	16870	»	»	»	»	»	415,1	38 10
17	7170	4640	5130	16940	»	»	»	»	»	411,4	38 15
18	7630	6010	3380	17020	»	»	»	»	»	414,1	38 05
19	6810	»	800	7610	»	»	»	»	»	410,2	38 55[1]
20	1460	6510	1880	12850	»	»	»	»	»	412,3	38 70
21	4910	5750	5190	15850	»	»	»	»	»	413,1	38 90
22	6600	»	5010	11610	»	»	»	»	»	411,3	38 60
23	4150	3660	1530	12370	»	»	»	»	»	413,2	39 00
24	7010	2910	6010	15930	»	»	»	»	»	413,3	38 80
25	4680	5590	5090	15360	»	»	»	»	»	414,1	38 70
26	5410	2560	6820	14790	»	»	»	»	»	411,1	38 50
27	4990	5300	2620	12910	»	»	»	»	»	409,5	38 80
28	6020	2750	3460	12230	»	»	»	»	»	408,5	38 65
29	5640	4140	3870	13650	»	»	»	»	»	410,3	38 70
30	6280	1930	3590	11800	»	»	»	»	»	410,1	38 90

1. Cheval tondu.

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

DATE. — Novembre 1885.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	.		Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	448,5	»
3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	432,1	»
4	6380	1210	»	7590	»	»	»	»	»	421,0	»
5	3010	3300	1690	8000	»	»	»	»	»	418,3	»
6	2190	4200	670	7060	»	»	»	»	»	417,2	»
7	5610	2980	2650	11240	»	»	»	»	»	418,1	»
8	6320	1840	5430	13590	»	»	»	»	»	421,0	»
9	1040	3780	2610	7430	»	»	»	»	»	420,5	»
10	6630 r	1790	1750	10170	»	»	»	»	»	420,4	»
11	6640	950	4770	12360	»	»	»	»	»	422,2	»
12	4450	2500	630	7580	»	»	»	»	»	422,3	38 50
13	6320	2200	»	8520	»	»	»	»	»	421,5	38 30
14	2020	3960	»	5980	»	»	»	»	»	419,1	38 55
15	5450	»	5010	10460	»	»	»	»	»	423,2	38 55
16	750	990	1330	3070	»	»	»	»	»	418,4	38 50
17	3820	1750	1950	7520	»	»	»	»	»	419,4	38 60
18	1750	1750	1000	4500	»	»	»	»	»	416,3	38 45
19	1490	2100	4350	7940	»	»	»	»	»	416,2	39 00
20	3580	»	3410	6990	»	»	»	»	»	417,3	38 90
21	2340	600	8060	11000	»	»	»	»	»	418,1	39 10
22	530	4080	1440	6050	»	»	»	»	»	416,4	39 00
23	710	2690	1740	5140	»	»	»	»	»	414,2	38 90
24	2360	»	7650	10010	»	»	»	»	»	415,3	38 85
25	690	2250	1970	4910	»	»	»	»	»	413,6	38 90
26	1580	1270	2290	5140	»	»	»	»	»	413,6	39 00
27	2050	2620	1390	6060	»	»	»	»	»	411,2	38 85
28	1500	»	1360	2860	»	»	»	»	»	408,6	38 70
29	3920	3040	1470	8430	»	»	»	»	»	413,3	38 65
30	700	3910	3270	7880	»	»	»	»	»	414,3	38 80

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 30845.)

AU TRAVAIL, AU MANÈGE, AU PAS.

DATE. — Décembre 1885.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	2890	2150	1780	6820	754	7574	4790	37.05	1774,7	411,2	38 90
2	4010	1050	1270	6330	754	7084	5050	36.80	1858,4	410,2	38 85
3	5780	530	1850	8160	754	8914	4320	36.05	1557,4	412,3	38 80
4	1830	3270	1550	6650	754	7404	6070	35.40	2148,8	411,2	38 90
5	3650	3270	3300	10220	754	10974	3670	36.55	1323,4	415,1	38 60
6	3370	2260	850	6480	754	7234	7730	35.15	2717,1	410,4	38 95
7	990	230	1380	2600	754	3354	4980	37.40	1862,5	406,2	38 70
8	1000	1310	»	2310	754	3064	4940	37.55	1855,0	399,6	38 30
9	5010	3450	4950	13410	754	14164	4290	38.85	1666,6	410,4	38 60
10	3210	1010	2380	6600	754	7354	4390	40.15	1762,6	412,0	38 30
11	860	1730	460	3050	754	3804	4120	38.75	1712,7	409,2	38 35
12	1070	1480	2690	5240	754	5994	4770	38.70	1846,0	409,8	38 55
13	4420	380	1110	5910	754	6664	4780	39.15	1871,4	410,5	38 35
14	2120	1830	1070	5320	754	6074	4810	37.15	1786,9	410,5	38 35
15	1360	5780	370	7510	754	8264	5750	35.45	2038,4	409,6	38 45
16	850	1910	3190	5980	754	6734	3210	37.15	1192,5	409,0	38 65
17	»	870	2670	3540	754	4294	4200	38.55	1619,1	408,9	38 45
18	2920	1320	2770	7010	754	7764	3360	36.70	1233,1	410,5	38 40
19	250	1480	2340	4070	754	4824	4080	36.25	1479,0	409,0	38 45
20	2610	960	810	4380	754	5134	3550	40.10	1423,5	405,1	38 10
21	160	2140	2040	4340	754	5094	4750	39.75	1888,1	404,4	38 40
22	4940	»	980	5920	754	6674	2680	41.85	1121,6	406,0	38 55
23	1480	560	5520	7560	754	8314	3650	37.55	1370,6	408,0	38 25
24	3420	6110	»	9530	754	10284	3520	40.80	1436,2	404,3	38 25
25	»	»	»	»	754	754	2410	45.60	1098,9	400,9	38 45
26	2880	1010	1260	5150	754	5904	1940	46.25	897,2	401,6	38 00
27	190	370	2380	2940	754	3694	2550	43.35	1105,4	399,2	38 00
28	»	2380	2200	4580	754	5334	1850	38.15	705,8	399,5	38 25
29	460	1220	640	2320	754	3074	2280	36.80	839,0	397,6	38 00
30	6970	»	»	6970	754	7724	3430	37.10	1272,5	397,0	38 15
31	380	980	2230	3590	754	4344	3420	37.95	1297,9	397,2	38 75
Moyennes.	2238	1647	1743	5628	754	6382	4053	37.96	1540,7	406,6	38 45

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 2.
(Numéro matricule 31930.)

A LA MARCHE, AU PAS.

DATE. — Décembre 1885.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	5730	1970	1580	9280	634	9914	3500	37.50	1312,5	412,2	38 85
2	5110	1670	3290	10370	634	11004	4000	37.95	1518,0	407,1	38 75
3	4540	2590	3410	10570	634	11104	2750	39.95	1098,6	406,4	38 80
4	5210	680	1650	7540	634	8174	3890	39.60	1540,4	404,6	38 75
5	4390	1940	1540	7870	634	8504	2960	44.60	1320,2	405,2	38 75
6	3760	4600	5290	13650	634	13984	2900	44.80	1299,2	403,4	38 90
7	3180	1950	5910	11040	634	11674	2610	46.20	1205,8	402,0	38 85
8	5720	2130	4210	12360	634	12994	3200	45.90	1468,8	396,8	38 85
9	6140	7910	6020	20070	634	20704	2210	47.60	1066,2	394,9	38 60
10	6380	5090	5510	17010	634	17644	2440	47.60	1161,4	400,8	38 45
11	3950	710	3140	7800	634	8434	2580	47.45	1221,2	400,7	38 45
12	1740	2240	4600	8580	634	9214	2710	43.60	1181,6	399,5	38 75
13	5310	2250	5150	12710	634	13344	1770	46.60	824,8	397,4	38 60
14	4760	2760	5020	12180	634	13114	1880	45.30	851,6	389,5	38 45
15	6460	3910	6000	16370	634	17004	1870	46.05	861,1	388,2	38 40
16	3430	5510	7110	16050	634	16684	1740	49.40	859,6	387,1	39 35
Moyennes.	4753	3013	4343	12109	634	12743	2690	43.66	1174,6	399,7	38 72

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

AU REPOS.

DATE. — Décembre 1885.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	510	970	2500	3980	613	4593	3590	36.90	1321,7	414,5	38 70
2	1300	460	2500	4260	613	4873	3720	39.80	1480,6	411,3	38 70
3	710	1530	2810	5080	613	5693	2940	39.30	1155,4	411,4	38 75
4	620	»	4010	4630	613	5243	2180	40.95	892,7	413,0	38 70
5	810	1320	1960	4090	613	4703	3450	38.75	1336,9	412,0	38 90
6	1530	2080	1960	5570	613	6183	2430	43.65	1060,7	412,8	38 90
7	1360	1580	2830	5770	613	6383	1980	46.15	913,8	413,9	38 75
8	1030	1120	2020	4170	613	4783	3110	42.35	1317,1	413,6	38 60
9	1740	3290	2940	7970	613	8583	3170	44.40	1407,5	413,3	38 85
10	2160	2370	710	5240	613	5853	2560	45.30	1159,7	412,0	38 50
11	410	1870	2300	4580	613	5193	2460	43.50	1070,1	413,0	38 85
12	»	2070	1950	4020	613	4633	2470	44.95	1110,3	412,4	38 70
13	1020	1720	2230	4970	613	5583	3100	41.97	1394,1	413,1	38 55
14	720	2090	2940	5750	613	6363	2850	45.00	1282,5	413,7	38 65
15	3250	2840	4750	10810	613	11453	2570	42.40	1089,7	414,0	38 80
16	2820	4280	3180	10280	613	10893	3340	40.50	1352,7	414,0	38 70
17	3500	3970	4660	12130	613	12743	2150	37.65	809,5	419,7	38 70
18	1190	1120	2130	4410	613	5053	1810	41.25	800,9	420,0	39 05
19	2660	1490	2390	6540	613	7153	4270	39.00	1665,4	418,3	38 75
20	»	3370	2830	6200	613	6813	2250	44.85	1009,1	419,1	38 65
21	810	2030	1030	3870	613	4483	2800	42.95	1202,6	416,8	38 65
22	2050	1110	1200	4360	613	4973	2650	44.10	1168,6	414,3	38 15
23	770	630	2460	3860	613	4473	2680	45.90	1230,1	416,6	38 55
24	3520	6730	»	10250	613	10863	3510	44.00	1544,4	417,0	38 80
25	10270	»	380	10650	613	11263	3250	44.30	1439,7	415,6	39 00
26	610	3630	3740	7980	613	8593	2190	45.35	993,2	413,0	38 50
27	1130	1390	2050	4570	613	5183	1830	43.60	797,9	412,0	38 35
28	»	2130	8350	10480	613	11093	1480	46.40	686,7	412,0	38 10
29	2800	1770	»	4570	613	5183	1120	47.70	534,2	411,6	38 20
30	3690	750	3910	8350	613	8963	710	48.20	356,7	416,0	38 40
31	4560	2320	5540	12420	613	13033	1490	44.90	669,0	415,5	38 50
Moyennes.	1856	2001	2655	6512	613	7125	2585,1	42.74	1105,0	414,3	38 65

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 2.
(Numéro matricule 31930.)

A LA MARCHE, AU PAS.

DATE. — Janvier 1886.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	4320	5940	2690	12950	615	»	»	»	»	360,7	39 10
2	4460	5020	3800	13280	615	»	»	»	»	362,6	39 45
3	5010	3620	4850	13480	615	»	»	»	»	368,9	39 10
4	4780	3690	5750	15220	615	»	»	»	»	370,3	38 95
5	7860	7250	4880	19990	615	»	»	»	»	374,7	38 65
6	7360	»	»	7360	615	»	»	»	»	368,6	38 95
7	»	»	»	»	615	»	»	»	»	373,3	38 85
8	5670	3970	4040	13680	615	»	»	»	»	371,4	38 80
9	»	5290	4810	10100	615	»	»	»	»	373,0	38 60
10	5930	2490	3660	11880	615	»	»	»	»	366,2	39 20
11	7150	3460	3250	14660	615	»	»	»	»	365,7	39 05
12	6460	6090	3040	15590	615	»	»	»	»	364,7	39 10
13	9220	2420	4110	15750	615	»	»	»	»	366,1	39 25
14	4260	2820	3220	10300	615	»	»	»	»	364,6	38 75
15	4340	3390	2150	9880	615	»	»	»	»	365,8	38 70
16	5840	1800	1560	9200	615	9815	2860	36.45	1042,5	363,2	39 00
17	6000	2560	1840	10100	615	11015	2080	43.75	910,0	363,5	38 80
18	5950	3730	3570	13250	615	13865	3350	43.15	1445,5	362,6	39 00
19	6440	3040	3380	12860	615	13475	2890	42.80	1236,9	362,0	38 75
20	»	2890	2580	5470	615	6085	2600	45.05	1171,3	362,7	38 90
21	4090	3690	2450	10230	615	10845	3320	45.45	1508,9	364,3	38 90
22	4170	1810	810	6790	615	7405	3110	42.60	1324,9	364,0	38 85
23	2710	2010	»	4720	615	5335	2990	38.65	1155,6	347,8	39 40
24	10330	4600	11060	25990	615	26605	1790	43.05	770,6	344,5	38 80
25	8060	7620	6630	22310	615	22925	1490	44.95	669,7	361,2	38 85
26	4920	4270	1780	10970	615	11585	1760	41.25	726,0	363,9	38 75
27	7320	1440	2040	10800	615	11415	2170	40.85	886,4	362,4	39 05
28	9290	4010	3530	16830	615	17445	3900	34.80	1357,2	353,6	38 85
29	8150	4680	2790	15620	615	16235	740	47.40	350,8	355,9	38 60
30	5940	5980	5970	17890	615	18505	1110	47.35	525,6	354,5	39 25
31	8800	2830	3320	14950	615	15565	650	42.10	273,6	363,0	38 60

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

AU TRAVAIL, AU MANÈGE, AU PAS.

DATE. — Janvier 1886.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	910	520	»	1430	806	»	»	»	»	412,4	38 45
2	290	6890	4220	11400	806	»	»	»	»	420,6	38 40
3	1040	1930	1010	3980	806	»	»	»	»	415,0	38 05
4	730	3200	6310	10270	806	»	»	»	»	416,8	38 20
5	»	1980	5140	7120	806	»	»	»	»	415,1	38 35
6	»	3650	6740	10390	806	»	»	»	»	419,2	38 35
7	310	3550	7790	11650	806	»	»	»	»	417,4	38 05
8	5330	8010	2140	15480	806	»	»	»	»	414,7	37 95
9	2760	1030	3720	7510	806	»	»	»	»	412,5	37 80
10	1290	2220	2740	6250	806	»	»	»	»	411,5	38 45
11	4780	»	3890	8670	806	»	»	»	»	413,0	38 25
12	7330	170	3180	10680	806	»	»	»	»	413,0	38 35
13	990	1990	4730	7710	806	»	»	»	»	416,6	38 05
14	»	2800	7600	10400	806	»	»	»	»	413,0	38 30
15	1540	4620	1900	8060	806	»	»	»	»	412,0	38 15
16	3570	1520	3750	8840	806	9646	2830	35.45	1003,2	413,5	38 25
17	»	2500	6330	8830	806	9636	3880	39.40	1528,7	414,0	38 45
18	»	2650	4920	7570	806	8378	2410	40.50	976,1	414,0	38 20
19	580	3130	2990	6700	806	7506	2590	43.50	1126,6	413,4	38 25
20	5610	3120	2250	11280	806	12086	4310	41.20	1775,7	412,0	38 15
21	1170	2550	3110	6830	806	7636	2570	44.75	1150,1	412,0	38 25
22	»	2070	3570	5640	806	6446	2970	43.85	1302,3	411,4	38 10
23	5870	10620	»	16490	806	17296	2830	43.50	1231,1	405,0	37 80
24	»	6600	6140	12740	806	13546	2480	43.50	1078,8	407,5	38 05
25	1080	5010	6980	13070	806	13876	2190	44.00	963,6	409,7	38 25
26	»	8510	2670	11180	806	11986	1690	46.40	784,1	410,5	38 00
27	»	4610	2880	7490	806	8296	2790	41 65	1162,0	409,0	38 40
28	330	3030	2350	5710	806	6516	3520	41.30	1453,8	408,6	38 00
29	»	2080	5570	7650	806	8456	2980	41.80	1245,6	406,9	38 05
30	7230	»	4400	11630	806	12406	3280	39.40	1292,3	404,3	38 30
31	»	4290	3920	8210	806	9016	3070	41.45	1272,5	403,0	38 25

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 2.
(Numéro matricule 31930.)

A LA MARCHE, AU PAS.

DATE. — Février 1886.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	2890	1610	1980	6510	615	7125	2410	44.85	1094,3	361,4	38 70
2	6000	1810	1930	9740	615	10355	2710	39.05	1058,3	349,5	39 30
3	8040	11890	4470	24100	615	25015	1760	40.05	704,9	351,1	38 80
4	6760	6830	8570	22160	615	22775	2050	41.35	847,7	360,7	38 65
5	12430	»	2160	14590	615	15205	890	46.45	413,4	362,2	38 50
6	5850	3240	3400	12490	615	13105	»	»	»	361,1	39 00
7	6170	1050	2320	9540	615	10155	880	27.75	244,2	358,8	38 85
8	5190	2380	3800	11370	615	11985	»	»	»	360,5	38 80
9	3680	6580	1810	12070	615	12685	1170	24.45	286,1	359,3	38 65
10	2890	5020	1880	9790	615	10405	1100	33.90	372,9	363,5	38 40
11	2890	3570	1720	8180	615	8795	2740	32.20	882,3	363,6	38 45
12	3170	»	3120	6290	615	6905	4180	32.70	1366,9	361,2	38 25
13	4570	1050	2220	7840	615	8455	4640	34.15	1584,6	358,9	38 25
14	4530	1240	330	6100	615	6715	3830	36.45	1396,0	355,2	38 50
15	4360	»	4630	8990	615	9605	2210	38.20	841,2	355,3	38 35
16	5260	1500	1320	8080	615	»	»	»	»	354,5	38 30
17	1870	7180	4600	13650	615	»	»	»	»	360,4	38 30
18	3580	4080	4210	11870	615	»	»	»	»	353,0	38 40
19	12070	6950	8650	27670	615	»	»	»	»	353,0	38 55
20	9810	5030	6820	21660	615	»	»	»	»	363,9	38 20
21	5730	4900	1550	12180	615	»	»	»	»	362,7	38 35
22	2770	6660	2390	11820	615	»	»	»	»	356,5	38 15
23	9450	1120	2940	13510	615	»	»	»	»	357,7	38 35
24	5750	1530	2840	10120	615	»	»	»	»	356,9	38 40
25	6280	»	4310	10590	615	»	»	»	»	355,9	38 20
26	7090	»	6950	14040	615	»	»	»	»	355,1	38 25
27	6620	1440	3230	11290	615	»	»	»	»	347,8	38 10
28	1060	11950	6820	19830	615	»	»	»	»	347,5	38 20
Moyennes.	5723	3331	3150	12204	615	12819	2174,2	39.26	853,6	359,1	38 76

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

AU TRAVAIL, AU MANÈGE, AU PAS.

DATE. — Février 1886.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	»	2760	5160	8220	806	9026	2150	45.20	971,8	401,4	38 10
2	7000	»	1440	8440	806	9246	2320	43.50	1009,2	400,7	38 15
3	6290	»	1510	7800	806	8606	1330	46.30	615,8	403,0	38 05
4	»	4710	4990	9700	806	10506	3140	42.65	1339,2	405,9	37 95
5	780	1420	3660	5860	806	6666	2220	43.55	966,8	406,0	38 05
6	750	860	3380	4990	806	5796	3080	43.45	1338,3	396,7	37 90
7	5030	2990	6970	14990	806	15796	1880	45.45	854,5	395,0	37 85
8	8730	1610	1780	12120	806	12926	1700	44.40	751,8	393,6	37 75
9	1370	2660	1540	5570	806	6376	2520	43.15	1087,4	393,8	37 90
10	»	4370	2210	6610	806	7416	1830	44.65	817,1	391,7	37 75
11	4820	1410	1870	8100	806	8906	2010	44.55	895,5	392,0	37 65
12	2990	»	3380	6370	806	7176	2980	44.05	1312,7	389,8	37 90
13	7730	»	3420	11150	806	11956	2910	45.80	1432,8	387,1	37 60
14	1440	3210	1630	6280	806	7086	2350	45.05	1058,7	386,2	37 75
15	3490	»	780	4270	806	5076	2250	44.60	1003,5	383,1	37 80
16	1440	690	»	2130	806	»	»	»	»	380,0	37 55
17	600	2980	4140	7720	806	»	»	»	»	386,2	38 25
18	2040	1350	2910	6300	806	»	»	»	»	387,4	38 20
19	»	5920	3780	9700	806	»	»	»	»	387,0	38 00
20	2020	2170	5690	10180	806	»	»	»	»	387,0	38 15
21	1110	4080	1020	6210	806	»	»	»	»	386,1	37 95
22	2150	2480	1110	6310	806	»	»	»	»	384,0	37 80
23	»	2060	3890	5950	806	»	»	»	»	384,0	37 95
24	4220	»	1280	5500	806	»	»	»	»	381,6	37 95
25	6120	»	1150	7570	806	»	»	»	»	381,6	38 00
26	2610	»	2460	5070	806	»	»	»	»	377,5	37 70
27	1290	»	»	1290	806	»	»	»	»	374,5	37 70
28	»	1720	2330	4050	806	»	»	»	»	373,2	37 65
Moyennes.	2417	2858	3415	8720	806	9526	2614,8	42.93	1122,7	402,7	38 03

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

AU TRAVAIL, AU MANÈGE, AU PAS.

DATE. — Avril-Mai 1886.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	.	Gr.	Kil.	Deg.
5	430	3220	4230	7880	710	8590	1660	46.40	770,2	403,3	38 70
6	»	1240	3330	4570	710	5280	2030	46.00	933,8	401,0	38 35
7	»	7140	1890	9030	710	9740	2350	44.55	1016,9	400,6	38 75
8	2550	3290	1760	7600	710	8310	3120	42.00	1310,4	403,0	38 55
9	2290	2410	1680	6380	710	7090	4450	34.75	1546,4	401,4	38 60
10	3240	910	3830	8010	710	8720	3800	38.45	1461,1	399,0	38 35
11	»	2670	»	2670	710	3380	2620	42.40	1110,9	394,7	38 35
12	»	3270	2300	5570	710	6280	2050	44.85	919,4	392,0	38 30
13	3560	1540	2660	7760	710	8470	1650	46.40	765,6	393,4	38 35
14	»	4240	2240	6480	710	7190	2100	44.35	931,4	392,9	38 35
15	»	3110	2290	5400	710	6110	2520	44.70	1126,4	393,8	38 50
16	»	3160	2630	5790	710	6500	2940	43.70	1284,8	392,7	38 40
17	1620	1470	2520	5610	710	6320	2650	40.30	1067,9	391,4	38 75
18	2100	890	2160	5150	710	5860	2420	41.85	1012,8	389,0	38 50
19	2190	5230	3060	10480	710	11190	3290	39.95	1314,4	389,2	38 35
20	1390	2770	880	5040	710	5750	2190	43.35	949,4	386,0	38 30
21	»	3020	2240	5260	710	5970	2490	42.55	1059,5	384,6	38 50
22	580	2150	3830	6560	710	7270	1910	45.35	866,2	384,0	38 45
23	1310	4170	4410	9890	710	10600	2350	45.00	1057,5	383,9	38 40
24	2100	890	2160	5150	710	5860	2210	47.80	1056,4	384,5	38 50
25	1720	5320	3490	10530	710	11240	1790	46.70	835,9	377,8	38 90
26	»	7470	5980	13450	710	14160	1710	46.20	790,0	376,2	38 90
27	3930	3580	7540	15050	710	15760	1820	44.65	812,6	374,0	38 55
28	2350	5330	6320	14000	710	14710	1750	44.80	784,0	371,8	39 10
29	3260	»	1270	4530	710	5240	2040	44.40	905,8	369,6	38 45
30	1470	»	3120	4590	710	5300	2040	43.20	881,3	366,7	38 10
1	2110	2180	3410	8000	710	8710	1150	48.00	552,0	367,2	38 15
2	»	2870	1590	4460	710	5170	2500	46.85	1171,3	365,4	38 30
3	1430	2260	2220	5910	710	6620	1250	48.50	606,3	364,4	38 55
4	»	7660	1660	9320	710	10030	2430	46.95	1140,9	363,7	38 60
5	1590	3010	2590	7190	710	7900	1180	43.60	514,5	361,4	38 30
Moyennes.	1330	3123	2880	7333	710	8040	2273	43.40	986,6	384,4	38 49

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

A LA MARCHE AU PAS.

DATE. — Avril-Mai 1886.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
5	6110	5460	5850	17420	607	18027	1300	41.90	544,7	354,2	38 65
6	8390	6610	3650	18680	607	19287	1600	42.65	682,4	354,1	38 60
7	4880	9220	6050	20150	607	20757	2320	43.45	1008,0	353,8	38 60
8	2090	7140	2260	11790	607	12397	3020	42.00	1268,4	351,5	38 50
9	7410	6520	5110	19040	607	19647	1350	46.40	626,4	353,1	38 60
10	8290	5610	5610	19570	607	20177	1210	47.20	571,1	351,0	38 45
11	9730	2470	2160	14360	607	14967	2310	43.10	995,6	353,4	38 60
12	8670	2750	4720	16140	607	16747	2160	43.65	1073,8	353,0	38 45
13	2130	4710	1620	8160	607	9067	2510	41.05	1030,4	353,0	38 30
14	4140	3300	5720	13160	607	13767	1630	44.95	732,7	352,6	38 20
15	7410	1820	2780	12010	607	12617	2100	41.85	878,9	353,0	38 75
16	6040	6280	3030	15350	607	15957	2080	41.45	862,2	352,2	38 45
17	5650	5990	4610	16280	607	16887	1890	38.30	723,9	353,7	38 25
18	4530	5380	2890	12800	607	13407	4480	34.25	1534,4	351,1	38 20
19	6990	5890	7040	19920	607	20527	3800	32.15	1221,7	350,7	38 20
20	8190	8210	5250	21950	607	22557	2660	32.80	872,5	347,9	38 55
21	9470	10110	7740	27320	607	27927	3150	32.65	1028,5	350,4	38 20
22	9510	8640	5030	23180	607	23787	2220	35.80	794,8	349,0	38 35
23	6410	7120	9600	23160	607	23767	2620	34.90	914,4	348,5	38 30
24	4310	8630	9580	22520	607	23127	2050	36.30	744,2	348,5	38 25
25	7730	12020	10790	30540	607	31147	1760	35.05	616,9	347,5	38 35
26	4770	11630	6730	23130	607	23737	2670	37.30	995,9	345,5	38 25
27	12490	11160	13110	36760	607	37367	2000	38.70	774,0	344,0	38 40
28	8720	13430	6910	29090	607	29697	1750	38.75	678,1	344,2	38 40
29	10190	2960	9840	21990	607	22597	1840	38.00	699,2	341,9	38 30
30	11580	12070	11880	35530	607	36137	280	42.85	120,0	342,5	38 30
1	7740	10010	11580	29330	607	29937	2260	35.90	811,3	339,2	38 15
2	12290	4050	5750	22090	607	22697	760	40.70	309,3	342,1	38 35
3	10880	9600	10960	31440	607	32047	1730	40.65	703,2	339,5	38 15
4	12000	9070	8450	29520	607	30127	1270	40.05	508,6	339,3	38 30
5	12200	10190	12650	35040	607	35647	1420	41.90	595,0	340,1	38 05
Moyennes.	7783	7368	6743	21894	607	22501	2086,4	38.53	803,9	348,5	38 37

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

DATE. — Mai-juin 1886.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de feces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
12	1650	»	2360	4010	766	4776	1190	42.25	502,8	352,0	38 70
13	»	2840	3450	6290	766	7056	1730	42.30	731,8	353,0	38 75
14	4280	3610	»	7890	766	8656	1820	41.85	816,3	356,0	38 90
15	5790	»	1760	7550	766	8316	2190	42.20	1050,8	357,5	38 65
16	1970	»	2920	4890	766	5656	3160	39.60	1251,4	356,6	38 95
17	6630	1160	920	8710	766	9476	3620	37.60	1361,1	358,5	38 60
18	2240	5920	2200	10360	766	11126	3590	39.65	1423,4	353,3	38 50
19	2310	820	1970	5100	766	5866	1920	41.10	789,1	357,3	38 65
20	560	2110	1840	4510	766	5306	2390	43.85	1048,0	353,7	38 60
21	»	5190	»	5190	766	6356	1630	41.25	721,3	354,2	38 75
22	12870	8890	8340	30100	766	30366	4730	39.05	1847,1	361,8	38 25
23	1890	5220	2270	9380	766	10146	3450	41.20	1421,4	359,4	38 95
24	5020	5260	3310	13590	766	14356	3140	42.80	1343,9	356,2	38 70
25	»	1140	870	1990	766	2756	1820	43.25	787,1	353,6	38 85
26	1110	3160	770	5040	766	5806	2210	44.20	976,8	353,6	38 65
27	970	2010	»	2980	766	3746	2050	45.50	932,7	352,6	38 80
28	8270	1330	1450	11100	766	11866	2830	40.20	1137,6	357,1	38 60
29	2690	2380	11[illegible]0	65[illegible]	766	7296	2730	38.40	1048,3	357,2	38 [illegible]
30	1760	2310	2810	6910	766	7703	2180	36.50	905,2	359,8	38 75
31	6990	2840	2250	12080	766	12816	2770	38.75	1073,3	360,0	38 [illegible]
1	2520	8020	2040	12580	766	13316	1920	43.60	837,1	359,2	38 80
2	3060	3480	690	7230	766	7996	1650	43.85	723,5	356,6	38 65
3	1930	1320	550	3800	766	4566	2290	42.45	972,1	354,9	38 50
4	6330	1020	4150	11500	766	12266	1450	42.05	609,7	361,0	38 40
5	»	1640	4350	5990	766	6756	3330	38.55	1283,7	359,4	38 55
6	5900	2020	»	7920	766	8686	2410	42.55	1025,4	356,8	38 15
7	1970	»	5780	7750	766	8516	2780	40.65	1130,1	358,9	38 10
8	1410	»	5020	6430	766	7196	2220	39.90	8[illegible]5,8	361,1	38 45
9	2210	3390	1450	7050	766	7816	2620	41.10	1076,8	360,6	38 40
10	2620	2150	»	4770	766	5536	2370	41.55	984,7	358,0	38 70
11	6690	3070	1670	11430	766	12296	2990	37.00	1106,3	359,4	38 55
Moyennes.	3280	2658	2074	8012	766	8778	2510	40.87	1025,9	357,2	38 65

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 2.
(Numéro matricule 32573.)

DATE. — Mai-juin 1886.	EAU BUE à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des feces.	MATIÈRE sèche p. 100 de feces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
12	5240	7090	7090	19420	812	20232	3070	42.85	1315,5	410,2	38 80
13	5810	7650	7110	20570	812	21382	2770	45.15	1250,7	407,6	38 70
14	7060	9290	6270	22620	812	23432	2900	42.50	1232,5	405,5	38 85
15	8160	7140	9460	25060	812	25872	3670	41.85	1535,9	405,4	38 60
16	4420	7810	6810	19070	812	19882	3240	41.25	1336,5	405,0	38 50
17	5640	7010	5780	18430	812	19242	2960	40.05	1185,5	401,5	38 75
18	6900	8890	10010	25800	812	26612	3390	40.65	1378,0	400,1	39 45
19	1910	»	4740	6650	812	7462	2010	46.45	933,6	396,9	38 70
20	4790	4680	4680	14150	812	14962	1850	43.75	809,4	397,5	38 45
21	6730	7510	3510	17750	812	18562	1870	46.10	862,1	394,9	39 35
22	9490	10150	5210	24850	812	25662	3010	39.70	1195.0	391,5	39 55
23	6540	3760	5760	16060	812	16872	1660	40.00	664,0	390,3	38 80
24	7090	9750	10490	27330	812	28142	2110	47.40	1000,1	384,8	39 05
25	6740	5060	3590	15390	812	16202	1630	49.10	800,3	384,8	39 10
26	7770	5260	5100	18130	812	18942	1170	46.90	548,7	386,3	39 10
27	5740	5530	3810	15080	812	15892	2060	41.70	859,0	385,8	38 75
28	5470	3670	2410	11550	812	12362	2830	35.60	1007,5	386,3	38 85
29	4610	1850	1710	8170	812	8982	2010	38.80	779,9	382,2	38 75
30	5050	6970	5640	17660	812	18472	2050	36.80	754,4	385,8	38 95
31	6070	6190	5020	17280	812	18092	2430	36.50	886,9	385,2	38 90
1	6610	6940	6060	19610	812	20422	4060	35.65	1447,4	382,7	39 10
2	5560	5910	6070	17540	812	18352	1790	37.15	665,0	376,1	38 70
3	6160	4660	3680	14500	812	15312	1390	44.30	615,8	376,5	38 45
4	7210	1590	2460	14260	812	15072	2470	40.20	992,9	377,0	38 45
5	7010	2160	4580	13750	812	14562	2010	42.35	851,2	377,0	38 40
6	6170	1620	4370	12160	812	13972	2260	43.05	972,9	376,0	38 25
7	4090	5050	2390	11530	812	12342	1950	40.55	790,7	373,5	38 25
8	3620	6720	»	10340	812	11152	2030	44.75	908,4	368,4	38 50
9	5010	9550	1630	16190	812	17002	2270	42.20	957,9	363,6	38 30
10	2270	11080	»	13350	812	14162	1570	42.60	668,0	359,0	38 80
11	4800	10900	4130	19830	812	20642	2300	45.30	1041,9	356,8	38 35
Moyennes.	5808	6272	4826	16906	812	17718	2348	41.55	975,7	386,3	38 74

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

DATE. — Mai-juin 1886.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
12	8330	8110	10900	27340	654	27994	2350	38.50	904,7	338,9	38 15
13	9690	11080	7710	28480	654	29134	2010	40.65	829,3	343,5	38 40
14	6140	8840	6980	21960	654	22614	1960	42.15	826,1	345,5	38 45
15	8010	8150	4510	20670	654	21324	2360	44.05	1039,6	342,8	38 40
16	7530	7540	6750	21820	654	22474	2350	41.70	979,9	343,5	38 60
17	11710	7340	8480	27530	654	28184	2850	41.15	1172,8	342,2	38 65
18	4900	10190	4180	19270	654	19924	2490	42.15	1049,5	345,1	38 40
19	5990	4510	8410	18910	654	19564	2440	42.25	1030,9	343,7	38 20
20	7640	8720	8750	25110	654	25764	2530	41.30	1044,9	343,0	37 95
21	8490	8430	8210	25130	654	25784	1800	43.75	787,5	347,0	38 30
22	12340	13940	13330	39510	654	40164	2890	40.95	1183,4	343,2	38 25
23	13080	13510	9580	36170	654	36824	3270	39.75	1299,8	342,5	38 60
24	13440	10890	5930	30260	654	30914	3190	39.60	1263,2	343,4	38 60
25	10780	4980	3940	19700	654	20354	2510	40.30	1011,5	341,0	38 60
26	4410	7070	9090	20570	654	21224	1440	43.20	622,1	339,3	38 40
27	8710	7840	12790	28340	654	28994	1630	42.30	689,5	338,0	38 40
28	11710	10140	6620	28470	654	29124	1790	42.90	767,9	336,9	38 45
29	10230	10390	8990	29610	654	30264	2150	42.90	922,3	336,4	38 55
30	8740	6330	12950	28020	654	28674	2360	43.85	1034,8	337,8	38 45
31	10820	5680	5220	21720	654	22374	1560	42.85	668,4	337,3	38 60
1	11130	12530	4780	28440	654	29094	1630	45.20	736,7	337,6	38 25
2	13750	11920	8660	34330	654	34984	1740	42.25	735,1	336,0	38 40
3	9470	9100	2890	21460	654	22114	1940	41.20	799,3	334,5	38 10
4	11590	9770	8570	29930	654	30584	1550	43.80	678,9	333,5	38 25
5	8510	10990	11990	31490	654	32144	1780	36.85	655,9	336,8	38 35
6	10530	9160	9310	29000	654	29654	2650	38.90	1030,8	336,7	38 30
7	9120	4870	7110	21100	654	21754	1960	43.20	846,7	336,0	38 20
8	5410	5040	5460	15910	654	16564	3670	37.35	1370,7	333,3	38 20
9	7640	8750	6570	22960	654	23614	2030	41.85	849,6	332,0	38 10
10	2030	5270	7730	15030	654	15684	830	45.40	376,8	332,2	38 15
11	6270	8790	7270	22330	654	22984	1260	42.45	534,9	333,0	38 30
Moyennes.	8972	8705	7860	25537	654	26291	2161	41.41	894,9	339,1	38 35

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

DATE. — Juin 1886.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
12	1230	4000	8350	13580	720	»	2920	»	»	360,4	38 45
13	2840	3780	»	6620	720	»	3850	»	»	456,5	38 35
14	1030	10880	3860	15770	720	»	2950	»	»	362,5	38 30
15	3240	7280	1030	11550	720	»	1860	»	»	359,4	38 20
16	1600	7200	890	9690	720	»	2610	»	»	355,9	38 10
17	1320	2080	3060	6460	720	»	2290	»	»	355,0	38 30
18	1720	1460	2020	5200	720	»	1770	»	»	349,6	38 35
19	1720	1460	2020	5200	720	»	»	»	»	»	»
20	850	4940	2810	8600	720	»	»	»	»	351,6	38 30
21	2130	5160	2740	10030	720	10750	2010	33.50	673,4	351,3	38 40
22	4290	3990	2760	11040	720	11760	3380	35.90	1213,4	350,3	38 25
23	3110	390	1390	4890	720	5610	1410	40.15	566,1	349,9	38 20
24	1710	1750	7940	11400	720	12120	2270	40.55	920,5	350,1	38 35
25	2090	7270	»	9360	720	10080	2770	37.55	1010,1	347,6	38 50
26	3550	6170	2030	11750	720	12470	3570	33.60	1199,5	346,4	39 05
27	6690	980	1590	9260	720	9980	2200	37.10	816,2	345,6	38 25
28	3230	1690	2590	7510	720	8230	2240	39.10	875,8	345,6	38 10
29	490	4420	5460	10370	720	11090	1630	40.75	664,2	349,2	38 40
30	3750	1720	6250	11720	720	12440	2410	39.50	951,9	349,8	38 00
Moyennes.	3104	3354	3275	9733	720	10453	2389	37.34	892,1	348,6	38 35

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL Nº 3.
(Numéro matricule 30 334.)

DATE. — Juin 1886.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
12	9620	7480	7610	24790	648	»	2580	»	»	331,6	38 10
13	10060	9190	2380	21630	648	»	1480	»	»	332,6	38 30
14	8140	6450	7370	21960	648	»	2290	»	»	336,0	38 35
15	7500	10530	11350	29380	648	»	3360	»	»	337,3	38 40
16	7920	8190	7980	24090	648	»	3180	»	»	334,8	39 40
17	12800	13270	6510	32580	648	»	2260	»	»	331,1	38 35
18	11340	9730	12810	33880	648	»	1730	»	»	332,2	38 40
19	9990	6780	7070	23840	648	»	»	»	»	329,8	38 40
20	11110	9560	12540	33216	648	»	»	»	»	329,0	38 55
21	13150	9260	11970	34380	648	35028	1970	38.80	764,4	328,6	38 30
22	11090	11160	11290	33540	648	34188	3220	41.95	1350,8	327,2	38 40
23	11470	12480	10210	34160	648	34808	1980	40.95	810,8	327,3	38 05
24	5850	5750	11970	23570	648	24218	2600	41.70	1084,2	328,2	38 15
25	12960	7840	4070	24870	648	25518	1040	43.30	450,3	328,4	38 35
26	7990	9230	7380	24600	648	25248	2270	41.85	950,0	327,0	38 50
27	11200	9560	6730	27490	648	28138	2660	42.00	1117,2	324,5	38 50
28	5390	8380	10040	23810	648	24458	1270	40.85	518,8	322,4	38 25
29	11200	7200	9440	27840	648	28488	1250	44.70	558,7	326,7	38 05
30	7700	8490	5150	21340	648	21988	1870	42.20	789,1	329,4	38 10
Moyennes.	9800	8935	8825	27560	648	28208	2013	41.69	839,4	326,9	38 25

Nous arrivons maintenant aux données analytiques concernant les aliments consommés et les déjections des chevaux.

Composition centésimale des avoines.

Les avoines qui ont servi aux essais avaient la composition suivante :

1885-1886.	SUBSTANCE sèche p. 100.	CENDRES.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
Décembre 1885.	86.81	3.45	1.90	11.05	45.68	4.81	12.63	20.15
16 janvier-15 février 1886.	85.31	3.35	1.87	12.00	48.97	4.17	11.63	18.07
5 avril-5 mai 1886	85.80	3.70	1.69	10.65	45.30	4.50	13.75	20.29
12 mai-11 juin 1886.	84.74	3.45	1.50	11.30	48.66	4.05	13.73	17.31
Fin juin 1886	85.60	3.65	1.35	9.45	46.05	3.95	11.08	21.47

Mais les chevaux n'ont pas mangé la totalité de l'avoine qui leur était donnée chaque jour. Ils en ont laissé des quantités variables qui avaient les compositions suivantes :

1885-1886.		SUBSTANCE sèche p. 100.	CENDRES.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
Décembre 1885.	Cheval nº 1 . .	85.20	1.26	1.87	4.35	49.51	5.45	14.96	22.60
	Cheval nº 2 . .	81.85	1.64	1.87	11.55	43.18	3.22	10.73	21.81
	Cheval nº 3 . .	73.91	1.43	1.87	3.25	60.01	4.65	16.00	12.73
Du 16 janvier au 15 février 1886	Cheval nº 2 . .	82.63	1.36	1.56	11.80	49.50	4.04	11.09	20.65
	Cheval nº 3 . .	83.12	1.24	1.71	7.95	51.66	4.52	12.76	20.16
Du 5 avril au 5 mai 1886.	Cheval nº 1 . .	88.22	1.58	1.56	6.55	61.09	4.47	14.89	9.86
	Cheval nº 3 . .	87.70	1.44	1.40	8.40	48.46	4.69	15.04	20.57
Du 12 mai au 11 juin 1886.	Cheval nº 1 . .	84.93	1.51	1.56	8.50	55.82	4.42	13.93	14.23
	Cheval nº 2 . .	85.13	1.78	1.40	8.15	50.56	4.22	13.84	20.05
	Cheval nº 3 . .	84.23	2.00	1.25	6.05	43.46	4.12	11.50	28.62
Du 20 au 30 juin 1886. .	Cheval nº 1 . .	87.70	1.60	1.24	8.80	41.21	4.51	14.71	27.87
	Cheval nº 3 . .	86.30	1.62	1.09	6.50	41.73	4.70	15.67	25.69

Composition centésimale des fèces.

Les fèces ont été desséchées à 100 degrés dans le vide. La dessiccation a eu lieu chaque jour, et pour chaque cheval, sur deux échan-

tillons de fèces fraîches de 200 grammes chacun. Le tableau suivant donne leur composition :

1885-1886.		SUBSTANCE sèche p. 100 de fèces.	CENDRES.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
Décembre 1885.	Cheval n° 1 . .	37.96	12.05	»	20.75	6.87	2.33	11.23	46.77
	Cheval n° 2 . .	43.66	9.70	»	23.20	7.00	2.01	6.67	51.42
	Cheval n° 3 . .	42.74	10.40	»	22.15	7.75	2.24	8.21	49.22
Du 16 janvier au 15 février 1886	Cheval n° 2 . .	39.26	10.30	»	21.38	4.25	2.21	7.08	51.18
	Cheval n° 3 . .	42.93	10.30	»	22.38	5.00	1.98	8.75	51.59
Du 5 avril au 5 mai 1886.	Cheval n° 1 . .	43.40	11.80	»	20.18	4.50	4.47	10.08	48.97
	Cheval n° 3 . .	38.53	10.70	»	20.08	5.00	4.69	10.66	48.87
Du 12 mai au 11 juin 1886.	Cheval n° 1 . .	40.87	11.05	»	19.96	3.50	4.42	10.75	50.32
	Cheval n° 2 . .	41.55	11.15	»	21.54	5.00	4.22	8.00	50.09
	Cheval n° 3 . .	41.41	10.80	»	20.46	4.50	5.02	10.68	48.54
Du 20 au 30 juin 1886. .	Cheval n° 1 . .	37.34	12.80	»	16.72	3.25	4.51	13.15	49.57
	Cheval n° 3 . .	41.69	11.30	»	17.76	4.50	4.70	11.71	50.03

A l'aide des résultats consignés dans les tableaux précédents, il est aisé d'en déduire les tableaux suivants qui indiquent :

1° La composition moyenne de la ration consommée chaque jour ;

2° La composition journalière correspondante des fèces rendues ;

3° La quantité journalière de chacun des principes immédiats digérés ;

4° Le coefficient de digestibilité de chacun de ces mêmes principes.

MOIS de décembre 1885.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	CENDRES.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1. (Numéro matricule 30845.) Ration de travail.									
A reçu	5517,0	5326,7	190,3	104,8	609,6	2520,2	267,0	696,8	1128,3
A laissé.	550,8	543,9	6,9	10,3	23,9	272,7	30,0	82,4	124,6
A ingéré	4966,2	4782,8	183,4	94,5	585,7	2247,5	237,0	614,4	1003,7
A rendu	1540,7	1355,1	185,6	»	316,7	5,1	35,9	173,0	824,4
A digéré	3125,5	3427,7	»	94,5	269,0	2242,4	201,1	441,4	179,3
Coefficient	0,6897	»	»	1,00	0,4592	0,9977	0,8485	0,7184	0,1786

MOIS de décembre 1885.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	CENDRES.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 2. (Numéro matricule 31930.) Ration de transport.									
A reçu	4280,0	4132,4	147,6	81,3	472,9	1955,1	207,1	540,5	875,5
A laissé	105,0	103,3	1,7	1,9	15,3	45,3	3,4	11,2	26,2
A ingéré	4175,0	4029,1	145,9	79,4	457,6	1909,8	203,7	529,3	849,3
A rendu	1174,6	1060,7	113,9	»	272,5	3,8	23,6	78,3	682,5
A digéré	3000,4	2968,4	32,0	79,4	185,1	1906,0	180,1	451,0	166,8
Coefficient	0,7186	»	»	1,0000	0,4045	0,9980	0,8841	0,8520	0,1963
Cheval n° 3. (Numéro matricule 30334.) Ration d'entretien.									
A reçu	4060,0	3920,0	140,0	77,1	448,6	1854,2	196,1	512,8	831,2
A laissé	22,8	22,5	0,3	0,4	0,7	13,7	1,0	3,6	3,1
A ingéré	4037,2	3897,5	139,7	76,7	447,9	1840,5	195,1	509,2	828,1
A rendu	1105,0	990,1	114,9	»	244,7	3,6	25,8	91,1	624,9
A digéré	2932,2	2907,4	24,8	76,7	203,2	1836,9	169,3	418,1	203,2
Coefficient	0,7262	»	»	1,0000	0,4536	0,9980	0,8677	0,8210	0,2453

MOIS de janvier 1886.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	CENDRES.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 2. (Numéro matricule 31930.) Ration de transport.									
A reçu	3579,0	3459,1	119,9	66,9	429,5	1752,6	149,2	416,2	641,7
A laissé	216,0	213,1	2,9	3,4	25,5	106,9	8,7	23,9	41,7
A ingéré	3363,0	3246,0	117,0	63,5	404,0	1645,7	140,5	392,3	600,0
A rendu	853,6	765,7	87,9	»	190,3	3,7	18,8	70,6	482,3
A digéré	2509,4	2480,3	29,1	63,5	213,7	1642,0	121,7	321,7	117,7
Coefficient	0,7461	»	»	1,0000	0,5288	0,9977	0,8661	0,8200	0,1961
Cheval n° 3. (Numéro matricule 30334.) Ration de travail.									
A reçu	4691,0	4536,8	157,2	87,8	563,3	2298,6	195,7	545,9	845,5
A laissé	1003,0	990,6	12,4	17,1	79,7	518,1	40,5	127,6	207,6
A ingéré	3691,0	3546,2	144,8	70,7	483,6	1780,5	155,2	418,3	637,9
A rendu	1122,7	1007,1	115,6	»	245,3	3,2	22,2	98,8	637,6
A digéré	2568,3	2539,1	29,2	70,7	238,3	1777,3	133,0	319,5	0,3
Coefficient	0,6958	»	»	1,0000	0,4927	0,9982	0,8569	0,7638	0,0010

MOIS d'avril-mai 1886.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	CENDRES.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1. (Numéro matricule 29662.) Ration de travail.									
A reçu	4290,0	4131,3	158,7	68,6	456,9	1913,3	193,0	589,9	879,6
A laissé.	797,0	784,4	12,6	12,4	52,2	486,9	35,6	118,7	78,6
A ingéré	3493,0	3316,9	146,1	56,2	401,7	1456,4	157,4	471,2	801,0
A rendu	986,6	870,2	116,4	»	199,1	44,4	44,1	99,4	483,2
A digéré	2506,4	2176,7	29,7	56,2	205,6	1412,0	113,3	371,8	317,8
Coefficient	0,7175	»	»	1,0000	0,5080	0,9695	0,7198	0,7890	0,3967
Cheval n° 3. (Numéro matricule 30334.) Ration de transport.									
A reçu	3667,0	3531,3	135,7	58,7	390,5	1661,1	165,0	504,2	751,8
A laissé	509,0	501,6	7,4	7,2	42,7	246,7	23,8	76,5	104,7
A ingéré	3158,0	3029,7	128,3	51,5	347,8	1414,4	141,2	427,7	647,1
A rendu	803,9	717,9	86,0	»	161,4	40,2	37,7	85,7	392,9
A digéré	2354,1	2311,8	42,3	51,5	186,4	1374,2	103,5	342,0	251,2
Coefficient	0,7454	»	»	1,0000	0,5359	0,9715	0,7330	0,7996	0,3928

MOIS de mai-juin 1886.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	CENDRES.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1. (Numéro matricule 29662.) Ration de transport.									
A reçu	4237,0	4090,8	146,2	63,5	478,8	2061,7	171,6	581,7	733,5
A laissé.	633,0	623,3	9,7	9,8	53,8	353,3	28,0	88,2	90,1
A ingéré	3604,0	3467,5	136,5	53,7	425,0	1708,4	143,6	493,5	643,4
A rendu	1025,9	912,5	113,4	»	204,7	35,9	45,3	110,3	516,3
A digéré	2578,1	2555,0	23,1	53,7	220,3	1672,5	98,3	383,2	127,1
Coefficient	0,7153	»	»	1,0000	0,5183	0,9789	0,6845	0,7764	0,1975
Cheval n° 2. (Numéro matricule 32573.) Ration de travail.									
A reçu	4510,0	4354,4	155,6	67,6	509,6	2194,6	182,6	619,2	780,6
A laissé	1362,0	1337,8	24,2	19,0	111,0	688,6	57,5	188,5	273,2
A ingéré	3148,0	3016,6	131,4	48,6	398,6	1505,0	125,1	430,7	507,4
A rendu	975,7	866,9	108,8	»	210,2	48,8	41,2	78,0	488,7
A digéré	2172,3	2149,7	22,6	48,6	188,4	1456,2	83,9	352,7	18,7
Coefficient	0,6900	»	»	1,0000	0,4726	0,9675	0,6706	0,8188	00368

MOIS de mai-juin 1886.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	CENDRES.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 3. (Numéro matricule 30334.) Ration d'entretien.									
A reçu	3813,0	3681,5	131,5	57,2	430,8	1855,4	154,4	523,5	660,2
A laissé	303,0	297,0	6,0	3,8	18,3	131,7	12,5	43,9	86,8
A ingéré	3510,0	3384,5	125,5	53,4	412,5	1723,7	141,9	479,6	573,4
A rendu	894,9	798,3	96,6	»	183,1	40,3	44,9	95,6	434,4
A digéré	2615,1	2586,2	28,9	53,4	229,4	1683,4	97,0	384,0	139,0
Coefficient	0,7450	»	»	1,0000	0,5561	0,9766	0,6835	0,8006	0,2424

MOIS de juin 1886.	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	CENDRES.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1. (Numéro matricule 29662.) Ration de travail.									
A reçu	4280,0	4123,8	156,2	57,8	401,4	1970,9	169,0	692,6	919,1
A laissé.	1112,0	1094,2	17,8	13,8	97,8	458,6	50,2	163,9	309,9
A ingéré	3168,0	3029,6	138,4	44,0	303,6	1512,2	118,8	438,7	609,2
A rendu	892,1	777,9	114,2	»	119,2	29,0	40,2	117,3	442,2
A digéré	2275,9	2251,7	24,2	44,0	157,4	1483,3	78,6	321,4	167,0
Coefficient	0,7184	»	»	1,0000	0,5133	0,9808	0,6655	0,7326	0,2741
Cheval n° 3. (Numéro matricule 30334.) Ration d'entretien.									
A reçu	3852,0	3711,4	140,6	52,0	364,0	1773,8	152,2	542,3	827,1
A laissé.	1188,0	1168,8	19,2	12,9	77,2	531,4	55,8	186,1	305,4
A ingéré	2664,0	2542,6	121,4	39,1	286,8	1242,4	96,4	356,2	521,7
A rendu	839,4	744,9	94,5	»	149,2	37,8	39,5	98,4	420,0
A digéré	1824,6	1797,7	26,9	39,1	137,6	1204,6	56,9	257,8	101,7
Coefficient	0,6848	»	»	1,0000	0,4797	0,9695	0,5902	0,7237	0,1949

Les extrêmes dans la variation du coefficient de digestibilité ont

donc été, pour le cheval n° 3 qui a résisté pendant les essais du 1er novembre 1885 au 30 juin 1886 :

Pour la substance sèche de	0.6848 à 0.7454
Pour la cellulose brute de	0.4536 à 0.5359
Pour l'amidon de.	0.9695 à 0.9982
Pour la graisse de	0.5902 à 0.8677
Pour la protéine de	0.7237 à 0.8210
Pour la cellulose saccharifiable et les indéterminés de. .	0.0040 à 0.3928

Variations du poids des chevaux.

Durant les premières semaines d'alimentation à l'avoine, le cheval n° 3 a seul conservé son poids pendant le repos (décembre 1885), tandis que pendant le transport ou le travail, il y a eu diminution constante de poids vif, sauf pour le cheval n° 2 du 1er janvier au 15 février. Mais à partir d'avril, soit pendant le repos, la marche ou le travail, aucun des chevaux ne peut se maintenir en état : il y a perte de poids vif. Les chevaux ne veulent plus manger la totalité de l'avoine qu'on leur donne ; aussi y a-t-il une dénutrition rapide qui amène les chevaux, principalement le cheval n° 3, à un état de maigreur très marqué. Au début des essais, le 3 novembre 1885, ce cheval pesait 412 kilogr. et le 30 juin 1886 il ne pesait plus que 329kg,4. L'avoine seule n'a pu entretenir les chevaux ; de plus elle a amené la mort de l'un d'eux, le cheval n° 2 (n° matricule 32573).

Statique de l'azote.

Il reste maintenant à établir la balance de l'azote.

Les urines étaient recueillies et pesées chaque jour. On en fit pour chaque essai un échantillon moyen composé de la centième partie du poids de l'urine récoltée journellement. On fit de même pour les eaux provenant du lavage journalier des stalles. Les dosages d'azote ont été ensuite faits sur les échantillons ainsi préparés.

Voici, résumées par mois d'expériences, les moyennes journalières obtenues :

Mois de décembre 1885.

	CHEVAL N° 1.		CHEVAL N° 2.		CHEVAL N° 3.	
	Urine recueillie.	Eau de lavage.	Urine recueillie.	Eau de lavage.	Urine recueillie.	Eau de lavage.
Poids moyen journalier. . . . . gr.	3479,67	1555,8	11130,0	1667,5	4839,68	1570,3
Densité . . . . gr.	1041,4	1007,1	1019,5	1009,1	1030,7	1008,5
Volume correspondant en centimètres cubes.	3331,74	1541,83	11211,37	1652,46	4695,52	1557,08
Azote contenu dans 1 centimètre cube. . . . . mgr.	20,805	1,679	7,1816	1,590	12,709	2,276
Azote total. . . . . gr.	69,317	2,594	80,515	2,627	59,675	3,544
Azote total rendu dans les urines. gr.	71,911		83,142		63,219	

Mois de janvier-février 1886.

	CHEVAL N° 2.		CHEVAL N° 3.	
	Urine recueillie.	Eau de lavage.	Urine recueillie.	Eau de lavage.
Poids moyen journalier . . . . gr.	10651	1668	6731	1487
Densité . . . . gr.	1015,9	1006,6	1020,6	1006,4
Volume correspondant . . . . c. c.	10484,3	1657,0	6595,1	1477,5
Azote contenu dans 1 centimètre cube. . mgr.	5,024	1,128	8,332	1,262
Azote total. . . . . gr.	52,673	1,869	54,950	1,865
Azote total rendu dans les urines . . . . . gr.	54,542		56,815	

Mois d'avril-mai 1886.

	CHEVAL N° 1.		CHEVAL N° 3.	
	Urine recueillie.	Eau de lavage.	Urine recueillie.	Eau de lavage.
Poids moyen journalier . . . . gr.	3534,5	1475	18149	1181
Densité . . . . gr.	1041,0	1012,5	1008,9	1008,0
Volume correspondant . . . . c. c.	3395,2	1456,7	17988,8	1172,0
Azote contenu dans 1 centimètre cube . . mgr.	19,85	1,686	3,15	1,318
Azote total. . . . . gr.	67,395	2,456	56,665	1,943
Azote total rendu dans les urines . . . . . gr.	69,851		58,608	

Mois de mai-juin 1886.

	CHEVAL N° 1.		CHEVAL N° 2.		CHEVAL N° 3.	
	Urine recueillie.	Eau de lavage.	Urine recueillie.	Eau de lavage.	Urine recueillie.	Eau de lavage.
Poids moyen journalier . . . . gr.	4637,5	1470,7	10352,6	1503,9	21883,8	1498,7
Densité . . . . gr.	1031,9	1000,0	1016,1	1000,0	1009,7	1000,0
Volume correspondant . . . . c. c.	4494,1	1470,7	10188,5	1503,9	21673,5	1498,7
Azote contenu dans 1 centimètre cube. . . . . mgr.	10,68	1,230	6,576	1,096	3,174	0,894
Azote total. . . . . gr.	47,997	1,809	67,00	1,648	68,792	1,340
Azote total rendu dans les urines. gr.	49,806		68,648		70,132	

Mois de juin 1886. (Du 21 au 30 juin.)

	CHEVAL N° 1.		CHEVAL N° 2.		CHEVAL N° 3.	
	Urine recueillie.	Eau de lavage.	Urine recueillie.	Eau de lavage.	Urine recueillie.	Eau de lavage.
Poids moyen journalier. . . . . gr.	4030,0	1425,0	»	»	22759	1581
Densité . . . . gr.	1033,0	1000,0	»	»	1008,4	»
Volume correspondant. . . . . c. c.	3901,2	1425,0	»	»	22569,4	1581
Azote contenu dans 1 centimètre cube. . . . . mgr.	12,428	1,604	»	»	2,352	0,722
Azote total. . . . . gr.	48,184	2,286	»	»	53,083	1,141
Azote total rendu dans les urines. gr.	50,770				51,224	

Durant la dessiccation, les fèces perdent de l'azote ammoniacal. Nous avons déterminé chaque jour la quantité qui s'est ainsi volatilisée. En la rapportant aux poids des fèces rendues journellement, on a obtenu les chiffres suivants :

TABLEAU.

DÉCEMBRE 1885.				DU 16 JANVIER AU 15 FÉVRIER 1886.			DU 5 AVRIL AU 5 MAI 1886.			DU 12 MAI AU 11 JUIN 1886.			
Date.	Cheval 1.	Cheval 2.	Cheval 3.	Date.	Cheval 2.	Cheval 3.	Date.	Cheval 1.	Cheval 3.	Date.	Cheval 1.	Cheval 2.	Cheval 3.
	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Gr.		Gr.	Gr.		Gr.	Gr.	Gr.
1	»	»	»	16	0,219	0,148	5	0,293	0,089	12	0,182	0,423	0,219
2	0,667	0,581	1,353	17	0,158	0,238	6	0,151	0,147	13	0,153	0,113	0,157
3	0,604	0,3[illegible]7	0,662	18	0,218	0,162	7	0,134	0,390	14	0,175	1,079	0,173
4	0,622	0,501	0,423	19	0,170	0,195	8	0,187	0,245	15	0,294	0,382	0,213
5	0,684	0,290	1,206	20	0,117	0,322	9	0,398	0,143	16	0,380	0,318	0,298
6	1,117	0,175	0,475	21	0,116	0,222	10	0,308	0,217	17	0,339	0,361	0,306
7	0,758	0,178	0,532	22	0,143	0,373	11	0,201	0,590	18	0,398	0,284	0,308
8	0,845	0,199	0,472	23	0,273	0,198	12	0,131	0,229	19	0,197	0,269	0,257
9	0,620	0,160	0,561	24	0,223	0,148	13	0,080	0,317	20	0,200	0,110	0,271
10	0,512	0,151	0,370	25	0,116	0,179	14	0,265	0,165	21	0,124	0,116	0,129
11	0,796	0,172	0,351	26	0,126	0,064	15	0,198	0,141	22	0,252	0,127	0,149
12	0,615	0,244	0,472	27	0,146	0,147	16	0,375	0,186	23	0,251	0,106	0,266
13	0,564	0,178	0,308	28	0,579	0,292	17	0,362	0,170	24	0,255	0,299	0,225
14	0,606	0,172	0,376	29	0,091	0,285	18	0,325	0,753	25	0,131	0,207	0,220
15	0,813	0,177	0,308	30	0,093	0,3[illegible]0	19	0,182	0,523	26	0,215	0,219	0,113
16	0,359	0,140	0,348	31	0,035	0,239	20	0,225	0,303	27	0,238	0,222	0,084
17	0,483	»	0,250	1	0,233	0,189	21	0,278	0,343	28	0,298	0,256	0,148
18	0,355	»	0,169	2	0,2[illegible]2	0,172	22	0,168	0,113	29	0,287	0,169	0,113
19	0,526	»	0,524	3	0,174	0,123	23	0,363	0,283	30	0,253	0,242	0,251
20	0,265	»	0,196	4	0,125	0,185	24	0,213	0,308	31	0,152	0,223	0,019
21	0,295	»	0,300	5	0,065	0,172	25	0,167	0,181	1	0,093	0,214	0,071
22	0,204	»	0,247	6	»	0,132	26	0,187	0,448	2	0,122	0,157	0,133
23	0,365	»	0,217	7	0,055	0,120	27	0,173	0,190	3	0,079	0,197	0,120
24	0,175	»	0,164	8	»	0,104	28	0,160	0,175	4	0,222	0,127	0,149
25	0,127	»	0,252	9	0,309	0,178	29	0,187	0,198	5	0,324	0,154	0,151
26	0,069	»	0,125	10	0,462	0,135	30	0,213	0,026	6	0,110	0,118	0,214
27	0,222	»	0,190	11	0,151	0,181	1	0,171	0,111	7	0,141	0,094	0,120
28	0,167	»	0,117	12	0,567	0,238	2	»	0,073	8	0,136	0,092	0,196
29	0,209	»	0,080	13	0,157	0,255	3	0,192	0,170	9	0,220	0,172	0,169
30	0,341	»	0,060	14	0,316	0,186	4	0,350	0,107	10	0,229	0,275	0,061
31	0,318	»	0,185	15	0,170	0,217	5	0,097	0,101	11	0,279	0,117	0,110
Moyenne	0,476	0,244	0,376		0,256	0,197		0,235	0,242		0,217	0,244	0,173

Enfin on a tenu compte de la quantité de poils et de poussières que le pansage enlève chaque jour.

Du 15 au 31 décembre 1885 on en a recueilli les poids suivants :

Cheval n° 1. . . . . . . $53^{gr},500$ contenant $4^{gr},026$ d'azote.
Cheval n° 2. . . . . . . le cheval est changé.
Cheval n° 3. . . . . . . 50 grammes contenant $3^{gr},952$ d'azote.

La production moyenne journalière a donc été de :

Cheval n° 1 . . . . $\frac{53,50}{16} = 3^{gr},344$ contenant $0^{gr},2516$ d'azote.

Cheval n° 3 . . . . $\frac{50}{16} = 3^{gr},125$ contenant $0^{gr},247$ d'azote.

Du 1er au 15 février on recueille :

Cheval n° 2. . . . $48^{gr},10$, soit par jour $\frac{48,10}{15} = 3^{gr},206$ de poussières.

Cheval n° 3. . . . $33^{gr},50$, — $\frac{33,50}{15} = 2^{gr},233$ —

Ces poussières contiennent :

Cheval n° 2 . . . . . . les $3^{gr},206$. . . $0^{gr},255$ d'azote
Cheval n° 3 . . . . . . les 2 ,233. . . 0 ,170 —

Du 5 avril au 5 mai inclus, on a recueilli en poussières de pansage :

Cheval n° 1. $96^{gr},00$, soit par jour $\frac{96,00}{31} = 3^{gr},096$ de pouss. cont. $0^{gr},283$ d'azote.

Cheval n° 2. $79^{gr},40$, — $\frac{79,40}{31} = 2^{gr},561$ — $0^{gr},232$ —

Cheval n° 3. $67^{gr},40$, — $\frac{67,40}{31} = 2^{gr},174$ — $0^{gr},188$ —

Du 12 mai au 11 juin inclus, on a recueilli :

Cheval n° 1. $201^{gr},55$, soit par jour $\frac{201,55}{31} = 6^{gr},50$ de pouss. cont. $0^{gr},566$ d'azote.

Cheval n° 2. $213^{gr},80$, — $\frac{213,80}{31} = 6^{gr},835$ — $0^{gr},653$ —

Cheval n° 3. $288^{gr},15$, — $\frac{288,15}{31} = 9^{gr},295$ — $0^{gr},925$ —

On a tenu compte aussi de la production de la corne des sabots. La corne était soigneusement recueillie lors du ferrage des chevaux.

Le cheval n° 2 (31930) a fourni 280 grammes de corne, du 27 novembre 1885 au 1er mars 1886, soit en 93 jours.

Le cheval n° 3 (30334) a fourni 400 grammes de corne, du 1er novembre 1885 au 2 mai 1886, soit en 174 jours.

La production moyenne journalière a donc été pour le

Cheval n° 2 de. . . . $\frac{280}{93}$ = 3gr,01 de corne contenant 0gr,340 d'azote.

Cheval n° 3 de. . . . $\frac{400}{174}$ = 2gr,874 — 0gr,325 —

Il reste à indiquer la production journalière des poils. Les chevaux ont été tondus le 21 novembre 1885.

Le cheval n° 1 (30 845) a donné	1 880 grammes de poils.
Le cheval n° 2 (31 930) a donné	2 060 —
Le cheval n° 3 (30 334) a donné	1 320 —

Le cheval n° 1 (30845) avait été tondu le 1er février précédent : les 1 880 grammes de poils ont donc été produits en 293 jours. Ils contenaient 13.12 p. 100 d'azote. La production moyenne journalière a donc été de :

$\frac{1880}{293}$ 6gr,416 de poils contenant 0gr,842 d'azote.

La tonte antérieure des chevaux n° 2 et n° 3 avait eu lieu à une époque indéterminée. Il n'est donc pas possible de fixer quelle a été la production moyenne journalière du poil chez ces deux chevaux. Le poil du cheval n° 2 contenait 13.01 p. 100 d'azote, et celui du cheval n° 3, 12.44 p. 100.

Avec tous ces éléments, on peut dresser le tableau suivant qui indique la balance moyenne journalière entre l'azote ingéré et l'azote rendu sous ses diverses formes :

TABLEAU.

	AZOTE ingéré.	AZOTE de l'urine.	AZOTE des fèces.	AZOTE des poussières.	AZOTE des poils.	AZOTE de la corne.	AZOTE total rendu.	DIFFÉRENCE.	OBSERVATIONS.
Cheval n° 1.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	
Décembre 1885. .	98,30	71,911	27,68	0,252	0,842	?	100,685	+ 2,385	Perte de poids vif.
5 avril-mai 1886 .	75,39	69,851	15,90	0,283	0,812	?	86,966	+ 11,576	Id.
12 mai-juin 1886 .	78,97	49,806	17,64	0,566	0,842	?	68,874	— 10,106	Gain de poids vif.
21-30 juin 1886 . .	70,19	50,77	18,76	?	0,842	?	70,372	+ 0,182	Perte de poids vif.
Cheval n° 2.									
Décembre 1885. .	84,68	83,142	12,53	?	?	0,340	96,012	+ 11,432	Perte de poids vif.
Janvier 1886. . .	62,77	54,542	11,29	0,255	?	0,340	66,427	— 3,657	Entretien.
12 mai-juin 1886 .	68,91	68,618	12,48	0,653	?	0,340	82,121	+ 13,211	Perte de poids vif.
Cheval n° 3.									
Décembre 1885. .	81,47	63,219	14,57	0,217	?	0,325	78,361	— 3,109	Le cheval s'est maintenu.
Janvier 1886. . .	66,92	56,815	15,80	0,170	?	0,325	73,110	+ 6,190	Perte de poids vif.
5 avril-mai 1886 .	68,43	58,608	13,71	0,188	?	0,325	72,831	+ 4,401	Id.
12 mai-juin 1886 .	76,73	70,132	15,29	0,925	?	0,325	86,672	+ 9,912	Id.
21-30 juin 1886. .	56,99	51,224	15,74	?	?	0,325	70,289	+ 13,299	Id.

On voit que, pour le cheval n° 2 dont le poids est resté stationnaire du 15 janvier au 15 février, la balance est presque exacte entre l'azote ingéré et l'azote rendu, ainsi que pour le cheval n° *3* qui aussi s'est maintenu en état en décembre 1885. Il est à remarquer que la balance aurait été encore plus rapprochée si on avait pu évaluer la production journalière des poils.

Depuis que ces résultats ont été obtenus, l'un de nous a démontré l'existence d'une nouvelle source de déperdition de l'azote qui ne paraît pas avoir été signalée jusqu'ici[1]. Elle est permanente et a un caractère tout à fait physiologique puisqu'elle réside dans la transpiration cutanée. La sueur du cheval renferme de l'urée et principalement de l'albumine en proportion non négligeable, surtout pendant le travail. D'après les premières déterminations faites par M. Leclerc, on peut évaluer à 1^{gr},5, au minimum, la quantité d'azote

1. M. A. Leclerc a communiqué des résultats fort importants de ces expériences à l'Académie des sciences, dans la séance du 9 juillet 1888. Nous publierons prochainement le mémoire de M. A. Leclerc sur cet intéressant sujet dans les *Annales*.

L. Gr.

qui, sous forme d'urée, d'albumine, etc., est éliminée chaque jour par la peau lorsque le cheval transpire sans mouiller les poils. Si la sueur est abondante, le poids d'azote éliminé est beaucoup plus considérable. Quel est-il?

De ce qui précède, on peut conclure qu'il est possible d'arriver à une balance exacte entre l'azote ingéré et l'azote rendu sous les différentes formes signalées. Ces nouvelles expériences, pas plus que les précédentes, ne justifient cette assertion de Boussingault : qu'une partie de l'azote de l'aliment est rejetée sous forme gazeuse par les voies respiratoires. Tout l'azote de l'aliment se retrouve intégralement dans les fèces, les urines, les poils, la corne et la sueur journellement produits.

Ainsi se trouve confirmée d'une manière certaine la non-excrétion de l'azote des aliments par les voies respiratoires. Déjà, dans notre premier mémoire [1], nous étions arrivés à cette conclusion qui nous paraît cette fois hors de doute. L'azote ingéré sous forme d'aliments et digéré sert intégralement à la nutrition de l'animal ; il est éliminé par le rein sous forme d'urée et autres produits d'excrétion et par la peau à l'état d'urée et d'albumine.

Coefficients de digestibilité.

Dans les expériences antérieures, on avait pris soin de séparer la cellulose saccharifiable de la cellulose brute et des matières indéterminées; le coefficient de digestibilité se rapprochait beaucoup du coefficient des matières indéterminées. D'un autre côté, le dosage de l'amidon par sa transformation en glucose présentait quelque inexactitude parce que, dans la saccharification par l'acide, il y a toujours décomposition partielle de glucose même lorsqu'on a pris soin de dissoudre préalablement l'amidon par la diastase. Aussi pour les essais dont il s'agit, M. Leclerc a recherché et adopté un mode de dosage direct de l'amidon. La cellulose saccharifiable et les matières indéterminées qui ont à peu près le même coefficient de digestibilité sont alors dosées par différence, et c'est sur elles et non sur l'amidon que portent les erreurs d'analyse.

1. L. Grandeau et A. Leclerc, *Études expérimentales sur l'alimentation du cheval de trait.* Premier mémoire. Grand in-4°. Berger-Levrault et Cie. 1882.

Pour faciliter les comparaisons, voici réunis sous forme de tableau les coefficients de digestibilité fournis par nos expériences :

	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et indéterminés.
Cheval n° 1.								
Décembre 1885.	68.97	71.66	100	45.92	99.77	81.85	71.81	17.86
5 avril-mai 1886	71.75	74.00	100	50.80	96.95	71.98	78.90	37.67
12 mai-juin 1886	71.53	73.68	100	51.83	97.89	68.45	77.64	19.75
21-30 juin 1886.	71.81	74.32	100	51.33	98.08	66.55	73.26	27.41
Cheval n° 2.								
Décembre 1885.	71.86	73.67	100	40.45	99.80	88.41	85.20	19.63
Janvier-février 1886 . . .	74.61	76.41	100	52.88	99.77	86.61	82.00	19.61
12 mai-juin 1886.	69.00	71.26	100	47.26	96.75	67.06	81.88	3.68
Cheval n° 3.								
Décembre 1885.	72.62	74.59	100	45.36	99.80	86.77	82.10	21.53
Janvier-février 1886 . . .	69.58	71.60	100	49.27	99.82	85.69	76.38	0.4
5 avril-mai 1886	74.54	76.30	100	53.59	97.15	73.30	79.96	39.28
12 mai-juin 1886	74.50	76.41	100	55.61	97.66	68.35	80.06	21.21
21-30 juin 1886.	68.48	70.70	100	47.97	96.95	59.02	72.37	19.49

Le coefficient de digestibilité a donc présenté un écart de :

	p. 100.
Pour la substance sèche.	6.14
Pour la substance organique	5.71
Pour la cellulose brute	15.16
Pour l'amidon.	3.07
Pour la graisse	21.86
Pour la protéine.	12.83
Pour la cellulose saccharifiable et les indéterminés	37.27

Comme on voit, ce sont les éléments nutritifs les plus importants qui ont donné les plus faibles écarts : 3.07 p. 100 seulement pour l'amidon et 12.83 p. 100 pour la protéine.

Il ne faut pas attribuer à l'individualité une trop grande influence sur les différences signalées, car on observe pour un même cheval (exemple le cheval n° 3) les plus grands écarts pour un même principe immédiat.

Un point important est à noter qui ressort nettement de l'examen des chiffres précédemment cités : c'est l'utilisation presque complète

de l'amidon, tandis que la cellulose saccharifiable et les matières indéterminées qui forment la seconde portion de ce qu'on nommait matières non azotées, peuvent dans certains cas, par exemple les périodes 12 mai-juin, cheval n° 3, et 15 janvier-février, cheval n° 3, n'être utilisées que dans une proportion tout à fait négligeable. Cela montre clairement qu'on ne doit plus aujourd'hui réunir sous le nom de matières non azotées ou d'extractifs non azotés, l'amidon ou la cellulose saccharifiable.

Du travail produit.

Maintenant, il reste à indiquer le travail qui a été effectué au manège. A ce sujet, nous devons ouvrir une parenthèse sur le degré de confiance qu'il convient d'attribuer aux résultats fournis par le manège dynamométrique de E. Wolff. Par la discussion des résultats qui avaient été obtenus dans les expériences antérieures, nous avons été amenés à penser que le manège donnait un travail kilogrammétrique erroné. Nous cherchâmes à vérifier expérimentalement cette opinion [1] :

1° En évaluant la traction à l'aide d'un manomètre à mercure qui à chaque instant donnait la traction correspondant à toutes les positions du manège durant son fonctionnement ;

2° En établissant sur le manège un dynamomètre enregistreur.

Ces deux appareils et les données qu'ils ont fournies nous ont convaincus de l'inexactitude des résultats obtenus avec le manège dynamométrique de E. Wolff. Malheureusement, nous ne pouvons, pour l'instant, dire quelle est la limite d'erreur dont le manège est capable. Nous avons obtenu, pour la traction, des chiffres allant du simple au double, toutes les conditions du manège et de travail restant les mêmes, sauf la vitesse du cheval. Or, le cheval ne marche jamais avec la même vitesse. Dans une note spéciale, nous indiquerons les expériences entreprises sur le manège de Wolff et la description de l'appareil additionnel qui est indispensable pour avoir des résultats exacts.

1. M. Leclerc a imaginé pour ces expériences un dynamomètre totalisateur extrêmement ingénieux dont nous publierons prochainement la description complète.
(*Note de la Rédaction.*)

D'après cela, les chiffres relatifs au travail effectué au manège ont si peu d'intérêt qu'il ne nous semble guère utile de les mentionner. Néanmoins nous les indiquerons ci-dessous afin de montrer dans quelles limites la traction peut varier. Il est bien entendu que le manège est resté dans les mêmes conditions relativement aux surfaces frottantes. Celles-ci sont restées constantes ainsi que le poids exercé sur elles par le chapeau du manège.

Le 29 décembre 1885, le dynamomètre enregistreur a fourni les tractions suivantes :

1° Lorsque le cheval marche vite au pas	23kg,017
2° Lorsque le cheval marche lentement	31 ,100

Le cheval faisant 700 tours par jour, soit un parcours de 20275m,85 le travail journalier était de :

Lorsqu'il marchait vite.	23kg,017 × 20 275,85 = 466 689	kilogrm.
Lorsqu'il marchait lentement . . .	31 ,100 × 20 275,85 = 630 579	—

Dans ces essais, on n'avait pas tenu compte du temps, parce que, d'après les expériences du général Morin, on admet que la traction est indépendante de la vitesse.

Au mois de février 1886, on renouvela les mesures dynamométriques et on nota la vitesse. Voici les résultats qui ont été obtenus :

Du 15 *février* 1886.

1° Vitesse du cheval. .	2m,1298 par seconde.	Traction correspondante.	19kgr,514
2° — . .	1 ,4198 —	— .	24 ,379
3° — . .	0 ,9108 —	— .	30 ,327

Si on appelle x la vitesse et y la traction exprimée en kilogrammes, on trouve que les résultats précédents peuvent être représentés assez exactement par la fonction suivante :

$$y = 3,9245 \quad x^2 - 20,7911 \quad x + 45,9901$$

d'où l'on déduit que, pour les vitesses du cheval,

$x = 0$	la traction	$y = 45^{kgr},99$
$x = 0^m,50$	—	$y = 36\ ,57$
$x = 1\ ,00$	—	$y = 29\ ,12$
$x = 1\ ,50$	—	$y = 23\ ,53$
$x = 2\ ,00$	—	$y = 20\ ,10$
$x = 2\ ,50$	—	$y = 18\ ,54$

Malheureusement, il ne nous semble pas encore possible d'arriver avec cette formule à l'évaluation exacte du travail fait au manège à une vitesse donnée. Des expériences ultérieures nous ont démontré que la fonction est beaucoup plus compliquée. Toutefois, en recourant à cette formule incomplète, on se rapproche beaucoup plus de la vérité qu'en suivant les indications de E. Wolff.

Il est aisé de se rendre compte des différences de travail kilogrammétrique que donnent des vitesses différentes pour un même parcours.

Nos essais du 15 février donnent pour 700 tours de manège = 20 275^{m},85.

Lorsque la vitesse est de	2^{m},13	un travail total de	19,510 × 20 275,85 = 395 663 kgrm.
—	1 ,42	—	24,379 × 20 275,85 = 494 305 kgrm.
—	0 ,91	—	30,327 × 20 275,85 = 663 020 kgrm.

et les 700 tours de manège auraient été effectués en

2 h. 39	à la vitesse de	2^{m},13
3 h. 58	—	1 ,42
6 h. 11	—	0 ,91

En réalité, les chevaux ont mis pour faire les 700 tours au pas des temps variant depuis 4 h. 32 min. jusqu'à 5 h. 54 min. (Les écarts observés sont de 2 h. 16 min. et 2 h. 57 min. pour faire 350 tours. le matin ou le soir.) Leur vitesse a donc varié depuis 0^{m},95 jusqu'à 1^{m},24 par seconde. D'après notre formule, la traction a donc oscillé entre 24^{kg},74 et 26^{kg},22 et c'est entre 29,74 × 20 275,85 = 603 004 kilogrammètres et 26,22 × 20 275,85 = 531 633 kilogrammètres que le travail journalier a varié.

Mais les résultats qui précèdent n'ont été obtenus qu'en opérant sur 4 ou 5 tours de manège ; et les essais ultérieurs effectués sur 350 tours successifs, c'est-à-dire pendant tout le travail du matin ou du soir, ont montré que les variations de la traction sont plus considérables que ne l'indiquent les nombres précédents, puisqu'elles dépassent le rapport 1/2. Nous n'entrerons pas ici dans de plus longs détails, puisque l'étude critique du manège et des modifications indispensables à lui apporter doit faire l'objet d'une note spéciale.

En ce qui concerne le travail que les chevaux ont fait dans les expériences antérieures à celles dont il s'agit, comme nous ne pouvons fixer un chiffre sur lequel nous puissions compter, nous préférons nous abstenir.

Ce n'est pas sans regret que nous devons considérer comme inexacts les chiffres qui expriment le travail kilogrammétrique qui a été fait avec le manège dans les expériences des années précédentes, expériences dont le détail a été publié.

Mais si notre trop grande confiance dans l'exactitude du manège employé par E. Wolff depuis nombre d'années nous a conduits à des erreurs, nous avons eu au moins la bonne fortune de les découvrir et ensuite de trouver le moyen de les éviter.

Si on ne peut compter sur le travail qui a été fait avec le manège, il n'en est plus de même pour le travail qui a été obtenu avec la voiture. Ce dernier a été exactement mesuré et on peut tabler sur les chiffres qui l'expriment.

2e SÉRIE. — ALIMENTATION AVEC UN MÉLANGE D'AVOINE ET DE PAILLE.

Cette deuxième série de recherches forme la suite naturelle des essais d'alimentation à l'avoine seule. On a vu dans la 1re série qu'avec l'avoine seule donnée à volonté, le cheval ne peut se maintenir en état, même au repos. Qu'arrivera-t-il si on ajoute à l'avoine un fourrage fibreux qui par lui-même a peu de valeur nutritive, tel que la paille d'avoine? C'est dans le but de résoudre ce problème que la 2e série d'essais a été entreprise.

Nous prendrons donc les chevaux de la 1re série au 30 juin 1886. Leur poids ce jour-là était de

Pour le cheval n° 1.	349kg,8
Pour le cheval n° 3.	329 ,4

Leur circonférence abdominale était de

Pour le cheval n° 1.	1m,50
Pour le cheval n° 3.	1 ,52

Dès le 1er juillet, on introduit de la paille d'avoine dans la ration

qui antérieurement n'était que de 4 kilogr. d'avoine. Les chevaux ont alors mangé les quantités suivantes de nourriture :

	CHEVAL N° 1.		CHEVAL N° 3.	
	Avoine.	Paille.	Avoine.	Paille.
	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.
Le 1er juillet 1886.	2 110	500	1 970	500
Le 2 —	1 310	750	1 000	750
Le 3 —	1 390	750	1 160	750
Le 4 —	1 590	1 000	2 210	1 000
Le 5 —	2 550	1 250	2 460	1 250
Le 6 —	4 000	1 250	4 000	1 250
Le 7 —	4 000	1 250	3 330	1 250
Le 8 —	4 000 [1]	1 250	4 000 [1]	1 250
Le 9 —	4 000 [1]	1 250	4 000 [1]	1 250
Le 10 —	4 500	1 250	4 500	1 250
Le 11 —	4 500	1 250	4 500	1 250

Du 12 au 20 juillet inclus, chaque cheval reçoit et mange 5 kilogr. d'avoine et 1kg,500 de paille.

Du 21 au 31 juillet inclus, chaque cheval reçoit et mange 5kg,500 d'avoine et 1kg,500 de paille.

Du 1er au 15 août inclus, chaque cheval reçoit et mange 5kg,500 d'avoine et 2 kilogr. de paille.

Du 16 au 31 août inclus, chaque cheval reçoit et mange 5kg,500 d'avoine et 2kg,500 de paille.

Du 1er juillet au 31 août, l'avoine consommée était aplatie.

A partir du 1er septembre, l'avoine n'est plus aplatie et la ration reste fixée pour les chevaux au repos jusqu'au 1er mars 1887, à :

Avoine.	5kg,500
Paille d'avoine.	2 ,500

L'augmentation progressive de l'avoine ou de la paille avait eu lieu à dessein afin d'éviter un trouble intestinal qu'on redoutait en raison de l'alimentation antérieure.

Dès le 1er mars 1887, le cheval n° 1 marche au trot et ne reçoit par jour que :

Avoine.	5kg,500
Paille d'avoine.	2 ,500

1. Plus de moitié de l'avoine laissée les premiers jours de juillet : chaque cheval recevait en effet 4 kilogr. d'avoine sur lesquels il n'a mangé que 2kg,110, 1kg,310, etc. (cheval n° 1) ou 1kg,970, 1kg,000, etc. (cheval n° 2).

c'est-à-dire la même ration qu'au repos. Comme le cheval avait, pendant le repos, beaucoup augmenté de poids avec cette ration, on voulut voir ce qu'elle donnerait lorsque le cheval marche au trot.

Le 1er mars, le cheval n° 3, qui travaille au manège au trot, reçoit une ration composée de :

Avoine.	6kg,500
Paille d'avoine.	2 ,500

Le 1er avril, le cheval n° 1 est mis au manège au trot avec une ration composée de :

Avoine.	6kg,500
Paille d'avoine.	2 ,500

Le cheval n° 3 qui marche au trot reçoit :

Avoine.	5kg,500
Paille d'avoine.	2 ,500

En mai 1887, les chevaux travaillent au trot et reçoivent chacun :

Avoine.	7kg,000
Paille d'avoine.	2 ,500

En juin 1887, les deux chevaux travaillent également au trot et reçoivent la même ration qu'en mai, c'est-à-dire :

Avoine.	7kg,000
Paille d'avoine.	2 ,500

Enfin, en juillet 1887, les chevaux travaillent à la voiture. Chacun d'eux reçoit la ration suivante :

Cheval n° 1 . .	Avoine.	7kg,000
	Paille d'avoine.	2 ,420
Cheval n° 3. . .	Avoine.	7 ,000
	Paille d'avoine.	2 ,500

Telle est la manière dont les chevaux ont été alimentés dans la 2e série d'essais.

Les voilà passés de la ration d'avoine seule à la ration : avoine et paille d'avoine.

Le mois de juillet 1886 doit être considéré comme ayant été indispensable pour opérer la transition.

Les chevaux ont donc été maintenus au régime d'avoine et de paille d'avoine du 1er juillet 1886 au 31 juillet 1887, soit pendant treize mois.

Durant ce laps de temps, les chevaux n'ont présenté, relativement à leur santé, aucun fait particulier à signaler.

Voici maintenant, condensés sous forme de tableaux, les résultats généraux qui ont été obtenus :

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

DATE. — Juillet 1886.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de feces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	1790	1660	3200	6650	»	»	2590	44.72	1158,2	318,0	38 60
2	2550	1940	4580	9070	»	»	4310	34.38	1481,8	317,0	38 60
3	5610	2530	1370	9510	»	»	2750	35.80	984,5	316,0	38 60
4	3620	7960	2390	13970	»	»	2720	37.93	1031,7	348,2	38 50
5	3960	5770	5220	14950	»	»	2830	35.47	1003,8	353,4	38 45
6	7090	5100	7360	19550	»	»	4580	30.75	1408,[illegible]	359,6	38 20
7	1520	13360	7530	22410	»	»	6680	33.03	2205,4	364,1	38 40
8	5150	1940	4580	11670	»	»	6190	35.10	2278,0	363,1	38 50
9	2190	4490	»	6680	»	»	5160	38.32	1977,3	361,8	38 55
10	5550	5370	»	10920	»	»	5450	36.82	2006,7	362,0	38 80
11	5630	5260	»	10890	»	»	5160	37.46	1932,9	362,5	38 55
12	4880	7410	2790	15080	»	»	6610	33.08	2186,6	361,1	38 85
13	6610	3820	6390	16820	»	»	6920	34.87	2413,0	368,9	39 00
14	6180	8060	»	14240	»	»	6460	32.75	2115,6	369,8	38 60
15	10760	4520	930	16210	»	»	6480	32.43	2101,5	374,1	38 75
16	6260	5680	2490	14430	»	»	5410	34.38	1860,0	378,2	39 00
17	5820	5660	2590	14070	»	»	7340	31.27	2295,2	376,4	38 65
18	7060	9480	»	16540	»	»	6560	30.73	2015,9	374,8	39 10
19	12490	7250	2590	22330	»	»	5990	31.17	1867,1	377,4	39 05
20	8520	6590	2860	17970	»	»	6800	33.67	2289,6	379,5	38 95
21	8480	7710	3830	20020	»	»	7120	30.70	2185,8	381,2	38 90
22	7920	6190	2910	17320	»	»	6440	32.38	2085,3	382,5	38 85
23	10760	6520	2240	19520	»	»	7300	31.23	2279,8	383,9	38 60
24	7410	7220	1080	15710	»	»	7100	31.08	2203,7	386,1	38 65
25	7840	7280	»	15120	»	»	7010	30.88	2164,7	384,7	38 50
26	11600	7270	1220	20090	»	»	7590	30.77	2335,4	386,0	38 15
27	7670	4670	»	12340	»	»	6750	30.85	2082,4	385,8	38 40
28	10860	6110	2190	19160	»	»	6770	31.48	2131,2	388,7	38 50
29	7010	8540	2680	18230	»	»	7030	30.28	2128,7	390,8	38 55
30	6590	6550	3750	16890	»	»	7230	30.88	2232,6	391,9	38 55
31	6570	7450	»	14020	»	»	6990	30.97	2164,8	389,5	38 45
Moyennes.	6614	6118	2173	15238	»	»	5955,5	32.83	1955,2	371,9	38 65

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

DATE. — Juillet 1886.	EAU BUE à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de feces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Gr.	Deg.
1	7220	6820	7420	21460	»	»	2790	33.93	916,6	330,0	38 10
2	8750	10350	6110	25210	»	»	2970	36.30	1078,1	330,1	38 15
3	9220	9570	2990	21780	»	»	3190	37.01	1291,6	329,8	38 35
4	8160	7720	8330	24510	»	»	3880	36.48	1415,4	332,4	38 35
5	7620	7260	620	15500	»	»	3740	36.53	1366,2	331,0	38 15
6	11610	7160	4390	23190	»	»	4080	31.53	1103,8	341,1	38 35
7	7220	9560	7790	24570	»	»	5560	32.95	1832,0	346,1	38 05
8	8520	8100	5350	21970	»	»	6570	30.96	2034,1	342,9	38 45
9	9860	4520	820	15200	»	»	5260	32.13	1690,0	345,1	38 00
10	8240	5710	»	13950	»	»	5340	31.88	1702,4	345,4	38 20
11	8530	3910	2910	15350	»	»	4370	31.63	1513,3	347,5	38 20
12	6870	3310	5510	15690	»	»	5700	32.43	1848,5	351,6	38 50
13	8130	1350	5310	14790	»	»	6840	33.38	2283,2	351,6	38 40
14	4760	2750	3920	11430	»	»	5650	32.20	1819,3	353,4	38 35
15	6880	4910	3420	15210	»	»	6360	31.27	1988,8	356,0	38 35
16	6070	2060	4290	12420	»	»	7480	32.60	2438,5	353,9	38 40
17	5630	3810	3390	12910	»	»	7490	31.30	2311,1	354,5	38 20
18	7230	6080	»	13310	»	»	6880	31.65	2177,5	350,0	38 25
19	12290	5750	3550	21590	»	»	6280	31.42	1973,2	355,7	38 40
20	6680	3620	3910	14210	»	»	6670	29.97	1999,0	359,2	38 05
21	7260	4130	6760	18450	»	»	6030	30.57	1843,4	360,8	38 55
22	7640	5310	5340	18290	»	»	7500	29.12	2184,0	365,1	38 40
23	11160	3930	3210	18300	»	»	6060	29.63	1795,6	365,9	38 35
24	8150	5650	1730	15530	»	»	7100	29.82	2117,2	365,5	38 30
25	8010	4820	1830	14690	»	»	8200	29.37	2408,3	365,0	38 50
26	11870	5370	2420	19660	»	»	6110	30.12	1939,7	368,2	38 20
27	6810	4950	3190	14950	»	»	7060	30.50	2153,3	368,7	38 30
28	9580	5830	2140	17550	»	»	7300	30.93	2257,9	370,7	38 15
29	8490	5690	2510	16690	»	»	7450	31.58	2352,7	372,0	38 20
30	8650	5850	4440	18940	»	»	7500	31.67	2375,2	372,5	38 25
31	7830	5740	»	13570	»	»	6990	32.65	2282,2	371,0	38 30
Moyennes.	9850	5518	3364	19062	»	»	5969	31.87	1898,7	353,7	38 32

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

DATE. — Août 1886.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	10450	5340	»	15790	»	»	8730	29.78	2599,8	390,2	38 40
2	12670	6510	2910	22120	»	»	7690	31.12	2393,1	396,3	38 45
3	9750	7500	3770	21020	»	»	8600	29.80	2562,8	395,6	38 60
4	6550	6420	1360	14330	»	»	9070	29.20	2648,4	393,5	38 40
5	8090	5750	1590	15430	»	»	8920	29.60	2640,3	393,1	38 60
6	11290	6660	3470	21420	»	»	7770	29.42	2285,9	396,9	38 65
7	6650	6370	2010	15030	»	»	8290	29.65	2458,0	398,4	38 70
8	11070	7130	4380	22580	»	»	8760	29.27	2564,1	400,9	38 60
9	9630	7710	3670	21010	»	»	9250	29.70	2747,2	402,5	38 55
10	9360	7390	2870	19620	»	»	9520	28.27	2691,3	401,7	38 45
11	10390	7310	1020	18720	»	»	8490	29.70	2521,5	399,4	38 55
12	9230	7390	2370	18990	»	»	8960	28.52	2555,4	400,8	38 75
13	11420	4490	4140	20050	»	»	8570	28.07	2405,6	403,7	38 45
14	9740	6030	1660	17430	»	»	8510	28.25	2404,1	404,1	38 60
15	8090	7680	1910	17680	»	»	7940	28.35	2251,0	406,7	38 75
16	10330	4540	2460	17330	»	»	9200	28.58	2629,4	408,6	38 75
17	8120	6780	2030	16930	»	»	9610	27.25	2618,7	409,1	38 60
18	7330	5560	1630	14520	»	»	9990	27.65	2762,2	410,7	38 50
19	9780	5470	3430	18680	»	»	10360	27.17	2814,8	412,5	38 45
20	8870	5230	2890	16990	»	»	10940	26.78	2929,7	414,3	38 45
21	7990	5470	5260	18720	»	»	10160	25.75	2616,2	415,4	38 50
22	8670	6270	3270	18210	»	»	11040	26.12	2883,6	415,5	38 50
23	10740	7480	2720	20940	»	»	10490	26.27	2755,7	414,0	38 60
24	11450	7340	2180	20970	»	»	11090	25.95	2877,8	414,0	38 50
25	10090	6130	3560	19780	»	»	9500	27.48	2610,6	416,7	38 55
26	8780	5960	4830	19570	»	»	10200	27.07	2761,1	418,4	38 55
27	7240	6170	3110	16520	»	»	9120	28.28	2579,1	417,5	38 55
28	10960	7420	4840	23220	»	»	10240	27.25	2790,4	419,0	38 70
29	10910	6930	3480	21320	»	»	9930	27.98	2778,4	417,4	38 65
30	10270	9070	5290	21630	»	»	9320	28.23	2631,0	418,8	38 85
31	12630	6380	5010	24020	»	»	9940	28.80	2862,7	419,1	38 80
Moyennes.	9630	6513	3004	19147	940	20087	10651	»	2633,2	407,3	38 58

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

DATE. — Août 1886.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	11610	2270	5230	19110	»	»	7990	31.90	2548,8	375,9	38 45
2	7130	9980	1060	18170	»	»	8670	32.90	2852,4	376,4	38 20
3	8210	5170	4670	18050	»	»	9410	29.62	2787,2	374,9	38 20
4	9030	7600	»	16930	»	»	8700	30 87	2685,7	374,8	38 25
5	11720	5650	»	17370	»	»	8910	30.85	2748,7	377,2	38 65
6	12010	4910	3410	20330	»	»	8910	30.52	2719,3	382,1	38 25
7	8110	6220	1080	15410	»	»	9250	31.03	2870,[illegible]	381,2	38 25
8	13290	6990	4590	24870	»	»	9740	30.25	2946,3	383,3	38 30
9	12680	3460	5220	21360	»	»	9140	30.70	2806,0	383,4	38 30
10	12770	7780	1630	22180	»	»	8950	29.35	2626,8	383,6	38 40
11	12580	3110	2350	18040	»	»	9400	30.50	2867,0	383,2	38 25
12	12010	6720	1390	20120	»	»	8460	29.68	2510,9	381,7	38 30
13	13540	6150	2960	22650	»	»	9440	28.63	2702,7	387,7	38 50
14	10260	6580	1190	18030	»	»	9220	29.00	2673,8	387,9	38 35
15	11540	6280	»	17820	»	»	9550	28.38	2710,3	382,9	38 30
16	14080	4890	1730	20700	»	»	9500	29.13	2767,3	391,0	38 20
17	13490	3610	1950	19050	»	»	10670	27.18	2900,1	391,2	38 15
18	8070	6140	1060	15270	»	»	10480	30.82	3229,9	387,8	38 45
19	11480	6520	1560	19560	»	»	10320	27.25	2812,2	390,3	38 50
20	12140	5040	1120	18300	»	»	10200	26.67	2720,3	392,3	38 40
21	12870	4510	4250	21630	»	»	10750	26.47	2845,5	397,3	38 40
22	12800	6080	1670	20550	»	»	10550	25.67	2708,2	396,0	38 35
23	12660	6810	2290	21760	»	»	10940	26.77	2928,6	398,1	38 30
24	10920	7660	3010	21590	»	»	9910	27.80	2755,0	398,5	38 60
25	13930	7320	1880	23130	»	»	10090	28.37	2862,5	401,1	38 45
26	10440	6550	2810	19800	»	»	9780	29.72	2906,6	400,9	38 40
27	14550	8130	970	23650	»	»	10740	29.13	3128,6	400,3	38 30
28	11890	5150	2930	19970	»	»	11410	27.48	3135,5	400,7	38 55
29	14770	5450	3720	23940	»	»	9400	27.55	2589,7	402,7	38 30
30	10770	11110	3140	25020	»	»	11010	27.98	3080,6	402,8	38 60
31	14850	8760	1370	24980	»	»	10490	27.78	2914,1	400,9	38 35
Moyennes.	11813	6213	2233	20259	940	21199	9741	»	2817,4	389,3	38 39

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

DATE. — Septembre 1886.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de feces.	MATIÈRE sèche des feces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	12930	6020	5930	21880	»	»	9910	27.85	2763,3	422,8	38 80
2	11650	7660	4000	23310	»	»	11180	28.47	3268,3	422,2	38 65
3	12240	4780	4720	21740	»	»	8910	29.28	2617,6	422,5	38 50
4	10490	6570	4620	21680	»	»	10290	28.02	2883,2	423,0	38 50
5	9270	10820	4970	25060	»	»	9730	27.98	2722,4	423,6	38 50
6	12730	7400	5740	25870	»	»	9790	28.60	2799,9	421,2	38 55
7	11520	8910	3520	23950	»	»	10070	27.70	2789.4	423,5	38 55
8	10240	7910	1780	19930	»	»	9330	28.83	2689,8	421,8	38 50
9	12090	6290	4820	23200	»	»	9930	28.60	2851,3	426,7	38 65
10	11330	10070	3990	25390	»	»	9820	27.97	2746,6	426,8	38 55
11	10060	7310	2750	20120	»	»	9970	28.73	2864,4	425,8	38 50
12	11510	8270	6080	25960	»	»	10120	28.38	2872,0	426,6	38 45
13	10690	8050	5510	24280	»	»	9990	28.07	2804,2	427,6	38 60
14	9960	8170	3190	21620	»	»	10080	27.90	2812,3	428,6	38 70
15	10160	6920	3470	20550	»	»	10060	27.42	2758,4	429,9	38 60
16	9720	7530	1140	18390	»	»	10100	27.85	2896,4	429,2	38 80
17	11740	6680	5800	24220	»	»	11220	27 92	3132,6	431,8	38 65
18	8640	6970	2070	17680	»	»	10710	27.65	2961,3	432,6	38 60
19	10380	8460	3580	22420	»	»	11930	26.43	3153,1	432,5	38 60
20	11020	6310	1770	19100	»	»	10220	26.65	2723,6	431,6	38 50
21	10880	7960	5050	23890	»	»	11030	26.97	2974,8	434,0	38 45
22	10360	6990	1050	18400	»	»	10820	28.63	3097,7	433,0	38 80
23	11220	6950	4560	22730	»	»	10190	27.37	2789,0	431,5	38 70
24	10710	7440	2660	20810	»	»	10420	28.38	2957,2	434,5	38 55
25	8930	7290	2220	8410	»	»	9950	28.27	2812,8	435,6	38 65
26	8950	7070	3830	19920	»	»	11400	26.98	3075,7	435,1	38 75
27	12750	6180	3670	22100	»	»	10390	27.70	2878,0	437,1	38 65
28	11950	8520	1110	21680	»	»	10120	27.50	2783,0	437,0	38 60
29	12750	6610	3950	23310	»	»	10840	27.37	2966,9	438,8	38 60
30	11310	5210	6530	23050	»	»	10380	27.25	2828,6	439,0	38 65
Moyennes.	10937	8711	3816	23161	874	24338	10353.7	»	2876,1	429,9	38 605

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

DATE. — Septembre 1886.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	15120	5020	5020	25160	874	»	10830	27.73	3003,1	406,9	38 35
2	14050	7160	1470	22980	874	»	11740	27.50	3228,5	405,3	38 30
3	13870	10920	2810	27600	874	»	9270	28.72	2662,3	406,5	38 35
4	13790	10490	8050	32330	874	»	10800	27.05	2921,4	409,3	38 55
5	14530	9600	4050	28180	874	»	11050	28.25	3121,6	409,5	38 50
6	13980	9200	2550	25730	874	»	10870	28.23	3068,6	409,8	38 50
7	12730	9770	1520	21020	874	»	10760	27.15	2921,3	408,5	38 35
8	12310	7010	960	20280	874	»	10530	27.87	2934,7	408,6	38 55
9	13980	8640	4250	26870	874	»	10190	29.38	2993,8	411,4	38 60
10	7930	4650	3480	16060	874	»	9580	28.60	2739,9	408,0	38 35
11	10200	7820	1610	19630	874	»	9990	28.43	2840,1	407,9	38 45
12	13880	6520	4810	25210	874	»	10650	28.63	3019,1	411,1	38 35
13	12620	7270	3790	23680	874	»	10650	27.72	2952,2	413,2	38 40
14	11530	6590	970	19090	874	»	10610	27.75	2952,6	411,5	38 35
15	13910	7970	2080	23960	874	»	10990	28.03	3080,5	412,6	38 40
16	11880	7850	380	20110	874	»	10390	28.70	2981,9	410,3	38 50
17	12430	8150	3690	24270	874	»	14180	28.07	3222,1	413,8	38 50
18	13320	7410	»	20730	874	»	10190	27.08	2759,4	411,4	38 55
19	13920	6380	2430	22730	874	»	10650	27.47	2925,5	417,6	38 55
20	11820	7880	1260	20960	874	»	10990	26.68	2932,1	416,8	38 45
21	12850	6530	770	20150	874	»	11610	26.60	3088,2	418,0	38 50
22	14050	5890	»	19940	874	»	11150	28.32	3157,7	418,1	38 55
23	13470	6400	2040	21910	874	»	11060	27.15	3002,8	418,3	38 30
24	12620	6410	510	19540	874	»	11140	27.80	3096,9	417,2	38 40
25	12790	7280	770	20840	874	»	11260	27.90	3141,5	417,4	38 60
26	13870	7700	»	21570	874	»	10870	26.87	2920,7	418,2	38 55
27	14880	6280	2070	23230	874	»	11080	26.25	2908,5	422,3	38 55
28	12310	6540	1430	20280	874	»	10940	27.67	3027,1	423,3	38 55
29	12130	7870	2520	22520	874	»	10780	27.50	2964,5	421,5	38 45
30	14060	7340	2310	23710	874	»	10990	26.98	2965,1	426,5	38 45
Moyennes.	13027	7495	2253	23025	874	23899	10737	»	2985,5	413,9	38 46

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

DATE. — Octobre 1886.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Gr.	Deg.
1	9223	6665	3021	18909	911	»	10158	27.63	2806,6	439,0	38 55
2	9050	8090	4510	21650	911	»	10200	26.57	2710,1	433,6	38 75
3	11450	4370	7910	23760	911	»	11530	24.17	2786,8	423,9	39 75
4	8210	5410	6810	20430	911	»	11990	27.00	3237,3	424,1	39 20
5	7290	4910	6460	18660	911	»	10060	27.32	2748,4	427,8	38 90
6	10710	5980	6610	23300	911	»	10760	28.83	3102,1	429,0	38 60
7	9770	6670	3720	20160	911	»	10140	28.35	2874,7	429,4	38 45
8	11970	7740	6090	25800	911	»	10170	27.83	2830,3	433,0	38 40
9	7950	6640	1910	16530	911	»	10330	27.67	2858,3	432,5	38 40
10	7110	6940	2220	16270	911	»	10690	28.42	3038,1	434,5	39 00
11	10120	6660	3950	20730	911	»	10310	30.27	3120,8	437,2	38 80
12	7990	7260	1840	17090	911	»	9090	29.45	2677,0	437,5	38 55
13	9680	6720	2610	19010	911	»	10430	29.87	3115,4	438,9	38 45
14	9223	6665	3021	18909	911	»	10890	29.35	3196,2	437,7	38 60
15	9340	6820	2090	18250	911	»	9320	29.38	2738,2	440,2	38 60
16	8610	6910	2080	17600	911	»	10190	29.85	3011,7	439,3	38 60
17	9980	5760	1070	16810	911	»	9690	29.37	2845,9	439,5	38 45
18	9980	5760	1070	16810	911	»	10340	28.57	2954,1	441,5	38 60
19	8940	6350	2010	17300	911	»	10480	28.08	2942,8	442,0	38 10
20	8540	7610	3620	19770	911	»	11190	28.50	3189,1	443,3	38 50
21	10310	6690	1930	18930	911	»	9850	28.23	2780,6	443,6	38 40
22	9190	7350	2490	19030	911	»	10140	28.65	2905,1	442,0	38 40
23	10650	7980	3370	22000	911	»	9230	28.30	2612,1	443,9	38 45
24	9640	6720	»	16360	911	»	9050	29.10	2633,5	442,4	38 80
25	7760	6570	2270	16600	911	»	10060	29.58	2975,7	443,8	38 60
26	11330	8140	3190	22660	911	»	9930	29.12	2891,6	445,6	38 60
27	8830	6490	1110	16430	911	»	9380	29.32	2750,2	445,7	38 45
28	8960	6850	1130	16940	911	»	10340	29.18	3017,2	443,8	38 50
29	10880	6580	360	17820	911	»	9200	29.03	2670,7	445,7	38 40
30	2110	7920	3220	13350	911	»	10230	28.80	2946,2	446,9	38 55
31	11110	5120	1920	18150	911	»	9530	28.40	2706,5	445,5	38 15
Moyennes.	9223	6665	3021	18909	911	19820	10158	»	2893,6	438,1	38 61

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

DATE. — Octobre 1886.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des feces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	11151	5417	3412	19983	911	»	10364	26.97	2795,2	425,0	38 60
2	10870	6370	9960	2720	911	»	11940	27.77	3315,7	420,9	38 45
3	10990	8460	3980	23430	911	»	11980	26.42	3165,1	419,9	38 45
4	12340	7470	3020	22830	911	»	10010	27.87	2789,8	423,7	38 45
5	12860	2230	6310	21400	911	»	10010	28.45	2817,8	424,6	38 55
6	13220	7920	4510	25650	911	»	11150	27.83	3103,0	427,9	38 50
7	13850	1950	3580	19380	911	»	9980	28.27	2821,3	428,1	38 50
8	12810	7120	4650	24580	911	»	11070	28.18	3119,5	427,5	38 45
9	12380	4630	12580	29590	911	»	10620	28.03	2976,8	429,4	38 60
10	7770	7130	»	14900	911	»	10770	28.92	3114,7	427,9	38 55
11	14310	3020	2320	19650	911	»	10620	28.53	3029,9	430,1	38 45
12	11850	7280	680	19810	911	»	10230	28.32	2897,1	430,1	38 50
13	13460	3170	1120	17750	911	»	10020	28.55	2860,7	430,5	38 40
14	11151	5417	3412	19983	911	»	11170	28.10	3138,8	429,4	38 50
15	11370	1140	9810	22320	911	»	10900	27.42	2766,7	432,3	38 45
16	5550	7120	»	12670	911	»	11020	26.23	2890,5	427,2	38 65
17	14090	4090	1740	19920	911	»	10450	26.27	2745,2	430,0	38 65
18	13570	7330	2450	23350	911	»	11520	27.05	3116,1	432,0	38 55
19	11940	2510	3450	17900	911	»	10800	27.28	2946,2	431,9	38 45
20	10290	7180	1840	19310	911	»	10750	27.98	3007,8	430,4	38 65
21	11630	1080	2730	18410	911	»	10550	28.45	3001,5	431,8	38 45
22	7470	6410	4450	18330	911	»	10060	28.43	2860,1	431,6	38 15
23	11210	5720	5130	22060	911	»	9950	29.60	2915,2	433,6	38 60
24	6590	7940	»	14530	911	»	9520	29.75	2832,2	428,9	38 65
25	11840	3550	1930	17320	911	»	10360	30.12	3120,4	432,2	38 55
26	9020	5670	2440	17130	911	»	9450	30 82	2912,5	433,8	38 50
27	10940	5220	»	16160	911	»	8180	30.72	2512,9	433,7	38 40
28	10520	7940	1350	19810	911	»	9300	32.23	2997,4	436,6	38 55
29	8880	4790	1080	14750	911	»	9110	30.08	2710,3	437,1	38 45
30	11070	5280	5130	21480	911	»	10090	31.85	3213,7	437,4	38 50
31	10790	4490	2730	18010	911	»	9350	30.67	2867,6	440,0	38 35
Moyennes.	11151	5117	3412	19983	911	»	10364	»	2950,1	430,1	38 50

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

DATE. — Novembre 1886.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	11110	9130	2690	22930	»	»	10860	27.32	2966,9	445,8	38 60
2	8345	6292	2287	16924	»	»	9870	28.08	2771,5	441,4	38 40
3	10160	6460	1590	18510	»	»	10390	28.13	2922,7	443,0	38 60
4	11120	8280	2930	22330	»	»	10290	29.15	2999,5	445,0	38 80
5	8670	6330	1840	16840	»	»	9620	29.30	2818,7	443,6	38 60
6	9590	8250	1010	18850	»	»	10260	29.07	2982,6	444,0	38 80
7	10350	6240	2740	19330	»	»	10230	27.98	2862,3	446,3	38 75
8	8810	7320	2120	18250	»	»	8830	28.52	2518,3	446,0	38 65
9	7860	4030	2350	14240	»	»	10080	28.40	2862,7	447,0	38 60
10	9910	7530	3930	21370	»	»	10610	28.70	3045,1	444,4	38 45
11	9630	6120	3020	18770	»	»	9160	28.88	2732,0	447,2	38 40
12	8620	7590	3880	20090	»	»	9820	29.25	2872,3	447,1	38 60
13	9550	6980	3650	20180	»	»	9430	30.58	2883,7	446,1	38 45
14	10050	5780	»	15830	»	»	9740	29.12	2836,3	443,6	38 45
15	10920	4710	3320	18950	»	»	9160	28.37	2598,7	449,2	38 60
16	7990	5980	3570	17540	»	»	11410	28.00	3194,8	447,1	38 50
17	10170	6310	1840	18320	»	»	8930	28.02	2502,2	448,7	38 60
18	9220	8690	2090	20000	»	»	10830	27.28	2954,4	448,3	38 85
19	5490	7980	2050	15520	»	»	9700	27.70	2686,9	446,9	38 80
20	5060	5020	4520	14600	»	»	10660	28.10	2995,5	444,0	38 70
21	4080	3720	1040	8840	»	»	8760	30.20	2645,5	443,0	38 70
22	7790	4480	»	12270	»	»	8720	30.33	2644,8	445,0	38 60
23	7140	6580	1120	14840	»	»	10200	30.15	3075,3	446,4	38 50
24	6100	5520	1480	13100	»	»	8820	31.57	2784,5	446,5	38 45
25	6900	5530	3180	15610	»	»	10130	30.77	3117,0	446,5	38 40
26	6530	5120	980	12630	»	»	8340	30.35	2531,2	449,0	38 45
27	6590	5650	3870	16110	»	»	10430	30.63	3194,7	449,5	38 50
28	5200	6980	1090	13270	»	»	8410	30.62	2575,1	449,0	38 60
29	9840	5180	4420	19440	»	»	10090	29.55	2981,6	449,4	38 80
30	7260	4980	»	12240	»	»	8610	36.93	3190,7	448,3	38 70
Moyennes.	8345	6292	2287	16924	981	17905	9757,3	»	2858,2	448,2	38 59

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(N méro matricule 30334.)

DATE. — Novembre 1886.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	8320	7150	8390	23860	981	»	10160	30.35	3083,6	438,0	38 55
2	8587	4236	3253	16076	981	»	9120	29.07	2651,2	437,2	38 40
3	10390	6120	4390	20900	981	»	9480	29.25	2772,9	440,8	38 45
4	7780	6340	4670	18790	981	»	9360	29.98	2806,1	439,7	38 35
5	9540	3230	4430	17200	981	»	10030	30.90	3099,3	439,4	38 35
6	8170	7130	1850	17150	981	»	10090	30.50	3077,4	436,3	38 40
7	13450	3560	4810	21820	981	»	9020	31.52	2843,1	439,6	38 60
8	9270	7490	2570	19330	981	»	9370	32.17	3014,3	440,7	38 45
9	9780	4810	3070	17660	981	»	10020	31.27	3133,2	442,5	38 55
10	9770	6580	2190	18540	981	»	9730	30.32	2950,1	444,1	38 55
11	9520	3070	5040	17630	981	»	9750	31.00	3022,5	443,5	38 50
12	6720	4370	5620	16710	981	»	10130	29.58	2996,4	441,1	38 45
13	9010	4730	3230	16970	981	»	9930	33.55	3331,5	441,1	38 40
14	8760	5470	»	14230	981	»	9510	33.00	3138,3	439,1	38 35
15	14320	5240	6050	25610	981	»	10740	32.43	3482,9	444,5	38 50
16	9280	8530	5370	23180	981	»	10970	32.85	3603,6	442,0	38 50
17	11130	3030	2470	16630	981	»	9170	30.25	2773,9	443,4	38 45
18	9420	5710	5110	20240	981	»	9720	30.43	2957,8	441,0	38 30
19	8310	2410	3220	13940	981	»	10030	30.28	3037,1	440,4	38 65
20	9160	4280	3790	17230	981	»	9970	30.47	3037,8	439,6	38 65
21	1970	5440	»	7410	981	»	10150	31.38	3185,1	436,1	38 35
22	6530	2340	3470	12340	981	»	8750	31.50	2756,2	437,2	38 30
23	5420	2090	1660	9190	981	»	9170	31.75	2911,5	435,5	38 45
24	6230	3520	»	9750	981	»	9130	32.95	3008,3	432,8	38 30
25	6270	1060	4490	11820	981	»	8480	33.47	2838,2	435,5	38 55
26	8290	1310	1030	10530	981	»	9700	30.65	2973,0	436,8	38 50
27	9430	3100	2580	15110	981	»	9210	30.73	2830,2	439,5	38 40
28	7330	890	»	8220	981	»	9120	30.85	2813,5	435,0	38 40
29	10520	3220	2380	16120	981	»	9750	36.93	3600,7	439,2	38 40
30	4960	630	2470	8060	981	»	9010	29.42	2650,7	434,3	38 30
Moyennes.	8587	4236	3253	16076	981	17057	9625,7	»	3012,6	439,2	38 41

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

DATE — Décembre 1886.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	9820	4880	3190	17890	1128	»	10100	29.37	3054,5	449,9	38 40
2	8040	4830	1840	14710	1128	»	9540	28.58	2726,5	449,5	38 40
3	7220	5150	2080	14750	1128	»	11400	30.60	3488,4	450,2	39 00
4	5870	5350	5090	16310	1128	»	10840	30.30	3281,5	449,4	38 85
5	4490	4410	»	8930	1128	»	8600	30.02	2581,7	446,8	38 65
6	8320	6380	3280	17980	1128	»	10160	29.13	2959,6	450,1	38 60
7	8870	10320	2020	21210	1128	»	9430	29.12	2746,0	451,8	38 50
8	7450	5050	3570	16070	1128	»	9610	28.88	2784,0	452,0	38 30
9	5940	6130	3810	15880	1128	»	9690	28.97	2807,2	452,0	38 45
10	9860	7270	1050	18180	1128	»	10050	28.22	2836,1	452,0	38 35
11	9580	7490	2470	19540	1128	»	9600	26.55	2548,8	451,0	38 40
12	8370	7220	630	16220	1128	»	9750	27.80	2710,5	451,7	38 40
13	9140	6210	3450	18830	1128	»	8950	27.82	2489,9	455,7	38 30
14	4390	8030	2450	14870	1128	»	9810	28.15	2761,5	457,2	38 25
15	9670	9640	4650	23960	1128	»	10490	27.17	2850,1	455,5	38 30
16	9520	8070	3680	21270	1128	»	9980	26.32	2626,7	456,2	38 30
17	7070	7120	3120	17310	1128	»	9130	27.75	2533,6	456,8	38 40
18	6640	6890	3590	17120	1128	»	10620	28.30	3005,5	454,2	38 45
19	8660	7410	2330	18400	1128	»	10100	28.00	2828,0	454,4	38 20
20	6570	8780	1550	16900	1128	»	10180	26.90	2738,4	453,4	38.45
21	5340	5710	5270	16320	1128	»	9720	28.32	2752,7	455,3	38.25
22	5330	7310	960	13600	1128	»	9460	28.67	2712,2	453,4	38.20
23	9260	8450	»	17710	1128	»	9390	28.12	2640,5	454,8	38 30
24	7550	7850	2350	17750	1128	»	8820	29.08	2564,8	458,2	38 45
25	3780	7390	»	11170	1128	»	10100	28.32	2915,3	454,5	38 40
26	10910	5890	1590	18390	1128	»	9360	28.90	2705,0	457,1	38 25
27	740	5430	1890	8060	1128	»	9300	28.95	2692,3	458,1	38 25
28	6320	5520	1980	13820	1128	»	8610	28.13	2422,0	460,5	38 55
29	6340	6260	2640	15240	1128	»	9550	28.70	2740,8	460,0	38 30
30	5110	6970	1370	13750	1128	»	9500	28.73	2729,3	458,3	38 30
31	3590	10310	2180	16080	1128	»	9360	28.87	2702,2	459,6	38 30
Moyennes.	7314	6906	2389	16609	1128	17737	9736	»	2773,2	454,2	38 38

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

DATE. — Décembre 1886.	EAU BUE à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des feces.	MATIÈRE seche p. 100 de feces.	MATIÈRE seche des feces.	POIDS du cheval a 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	7570	4970	1670	14210	1128	»	9010	30.98	2791,5	438,4	38 30
2	3450	6090	420	9960	1128	»	9350	29.72	2778,8	440,4	38 60
3	7950	1150	4370	13470	1128	»	9930	29.83	2962,1	439,4	38 10
4	3520	3150	3070	9710	1128	»	8680	30.52	2649,1	439,6	38 40
5	2110	2250	»	4670	1128	»	10270	28.92	2970,1	431,6	38 45
6	10710	1230	5170	17410	1128	»	10120	29.57	2992,5	439,5	38 55
7	5660	1910	920	8490	1128	»	9500	29.67	2818,6	438,3	38 45
8	11070	»	1980	13050	1128	»	8300	30.38	2521,5	440,1	38 40
9	9050	1920	2390	13310	1128	»	10010	29.32	2934,9	441,4	38 35
10	6060	1730	3320	11110	1128	»	10190	28.15	2984,4	441,8	38 30
11	8930	2960	4650	16540	1128	»	9900	29.03	2873,9	443,5	38 35
12	6680	4220	»	10900	1128	»	8410	30.60	2573,5	442,8	38 40
13	11580	1040	4760	17380	1128	»	9330	28.22	2632,9	419,0	38 10
14	3190	6190	1160	10540	1128	»	9970	28.27	2818,5	447,3	38 50
15	9670	2610	2580	14860	1128	»	9570	28.32	2710,2	447,2	38 45
16	5980	3040	2210	11260	1128	»	9500	30.35	2883,2	446,4	38 40
17	6980	850	4870	12700	1128	»	8760	29.32	2568,4	445,1	38 55
18	5770	1570	1940	9280	1128	»	9010	31.37	2826,4	443,4	38 40
19	10350	»	2360	12710	1128	»	9810	29.72	2915,5	445,6	38 25
20	7070	»	5290	12360	1128	»	9750	29.33	2859,7	447,0	38 25
21	6640	»	5670	12310	1128	»	9830	29.50	2899,8	447,3	38 40
22	5790	960	3160	9910	1128	»	9710	29.12	2827,5	443,5	38 40
23	8970	»	3950	12920	1128	»	9620	29.50	2837,9	445,8	38 55
24	8670	»	1840	10510	1128	»	8420	33.28	2802,2	447,4	38 50
25	6710	2840	»	9550	1128	»	8650	30.53	2640,8	447,9	38 45
26	10020	»	2570	12590	1128	»	9110	30.05	2737,5	449,2	38 80
27	10770	»	2080	12850	1128	»	8710	29.95	2608,6	450,5	38 60
28	8730	»	2440	11170	1128	»	9440	29.67	2800,8	448,9	38 10
29	4690	2570	»	7260	1128	»	9810	28.12	2788,0	446,6	38 40
30	8250	»	4190	12440	1128	»	9100	29.57	2690,9	448,8	38 55
31	9270	»	1970	11240	1128	»	9540	29.88	2850,5	446,5	38 65
Moyennes.	7489	1717	2623	11829	1128	12957	9407	»	2788,7	444,1	38 42

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

DATE. — Janvier. 1887.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	4700	6910	»	11610	»	»	9230	29.00	2676,7	458,7	38 25
2	6090	5810	»	11930	»	»	8820	29.28	2582,5	458,8	38 15
3	6420	5210	1420	13050	»	»	10000	28.57	2857,0	454,7	38 55
4	4070	2810	4480	11360	»	»	10210	27.45	2810,9	449,9	38 40
5	4880	3380	4960	13220	»	»	9700	28.38	2752,8	447,6	38 35
6	6530	5290	6040	17860	»	»	9620	29.38	2826,3	451,2	38 40
7	4520	5120	6760	16100	»	»	9610	28.48	2736,9	451,2	38 10
8	5560	6080	2540	14180	»	»	10350	28.08	2906,3	449,1	38 10
9	8220	5030	6760	20010	»	»	10690	28.47	3043,4	450,3	38 20
10	7380	4270	7490	19140	»	»	10920	27.63	3017,2	449,6	38 40
11	7750	7160	5750	20960	»	»	9740	28.77	2802,2	450,6	38 35
12	5700	4390	10180	20270	»	»	9760	27.85	2718,2	449,2	38 40
13	5150	6660	4260	16070	»	»	10240	27.63	2829,3	446,2	38 55
14	5080	5930	4930	15970	»	»	8300	27.50	2282,5	445,3	38 30
15	2890	6780	3250	12920	»	»	9130	29.27	2672,3	443,7	38 50
16	4060	6390	730	11190	»	»	9340	28.12	2626,4	441,4	38 40
17	10700	4060	6970	21730	»	»	10520	26.68	2806,7	447,3	38 40
18	5320	4670	7970	17960	»	»	10650	26.95	2870,1	447,0	38 45
19	4630	6260	6520	17410	»	»	10510	26.05	2737,8	446,6	38 35
20	2810	9140	5020	16970	»	»	10880	25.83	2810,3	444,5	38 30
21	4080	5290	6750	16120	»	»	9940	27.36	2719,6	444,1	38 45
22	5050	4490	5380	14920	»	»	9100	28.45	2588,9	443,1	38 30
23	3680	6650	4690	15020	»	»	10700	27.38	2929,6	441,3	38 35
24	5090	3260	6860	15210	»	»	9340	26.82	2505,0	441,2	38 40
25	5650	4920	6530	17100	»	»	9910	27.50	2725,3	440,4	38 35
26	5240	5340	7060	17640	»	»	10310	25.95	2675,4	440,7	38 20
27	5790	4310	6750	16850	»	»	10220	26.27	2684,8	440,5	38 35
28	4950	4490	6620	16060	»	»	9950	27.62	2748,2	440,3	38 30
29	5030	3960	5450	14440	»	»	9600	27.93	2681,3	439,3	38 50
30	6970	2800	6650	16420	»	»	11320	26.10	2934,5	437,5	38 25
31	2930	5860	8410	17200	»	»	8610	27.87	2399,6	438,7	38 55
Moyennes.	5384	5259	5393	16036	1152	17188	9911	»	2740,5	446,1	38 33

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

DATE. — Janvier 1887.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr		Gr.	Kil.	Deg.
1	6480	970	2780	10230	1152	»	8700	28.47	2476,9	444,5	38 40
2	10820	1390	1290	13420	1152	»	8840	29.80	2631,3	447,1	38 45
3	8310	1520	5420	15250	1152	»	9010	28.28	2548,0	451,0	38 40
4	970	1020	5480	7470	1152	»	9570	29.93	2364,3	447,0	38 35
5	5230	1760	5930	12920	1152	»	9870	28.28	2791,2	449,4	38 35
6	5960	1110	6910	13980	1152	»	9200	29.33	2698,3	450,3	38 30
7	5950	1940	4810	12730	1152	»	10970	29.92	3282,2	450,7	38 35
8	3460	5160	1380	10000	1152	»	9700	30.17	2926,5	448,0	38 25
9	5570	3010	2170	10750	1152	»	10390	30.05	3122,2	447,9	38 35
10	6130	3170	3190	12490	1152	»	9750	29.33	2859,7	448,2	38 25
11	3170	5280	2830	11280	1152	»	8730	29.38	2564,8	448,9	38 30
12	6680	»	5800	12480	1152	»	10170	29.42	2992,0	449,2	38 20
13	4980	4680	1990	11650	1152	»	10230	29.05	2971,8	448,0	38 35
14	5440	1980	2020	9440	1152	»	9290	29.15	2708,0	447,0	38 25
15	5780	3370	870	10020	1152	»	9100	28.85	2625,3	447,5	38 35
16	6890	1720	1080	9690	1152	»	10650	28.23	3006,5	442,5	38 45
17	8330	2170	6210	16710	1152	»	9740	28.90	2814,8	447,2	38 30
18	3480	2530	2520	8530	1152	»	10210	28.18	2877,2	445,9	38 35
19	6140	3790	1300	11230	1152	»	9570	28.60	2737,0	449,4	38 35
20	7930	2680	1890	12500	1152	»	9110	28.45	2591,8	450,7	38 35
21	6430	»	4630	11060	1152	»	9840	27.53	2708,9	450,6	38 20
22	2050	4310	»	6360	1152	»	8570	31.33	2685,0	446,8	38 25
23	8450	1050	1580	11080	1152	»	9620	28.77	2767,6	446,7	38 30
24	7750	840	4930	13520	1152	»	9210	29.27	2695,7	451,2	38 30
25	2830	2610	4500	9940	1152	»	9760	29.15	2845,0	450,0	38 30
26	3010	4020	5020	12050	1152	»	9550	28.47	2718,9	452,0	38 25
27	4020	3580	2480	10080	1152	»	9120	28.18	2570,0	451,2	38 20
28	5330	»	4030	9360	1152	»	10150	26.82	2722,2	448,4	38 35
29	4490	1750	2650	8890	1152	»	8870	28.50	2527,9	448,5	38 25
30	7870	»	4920	12790	1152	»	10070	28.37	2856,8	449,3	38 30
31	2440	5340	3640	11420	1152	»	9510	29.02	2759,8	450,1	38 40
Moyennes.	5560	2347	3364	11271	1152	12423	9583	»	2772,2	445,3	38 31

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

DATE. — Février 1887.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	5790	2750	7250	15790	1173	»	11140	27.17	3026,7	435,0	38 60
2	4570	2710	7920	15200	1173	»	10180	26.97	2745,5	434,0	38 50
3	4370	5550	5100	15020	1173	»	10000	26.82	2682,0	433,2	38 45
4	6160	3060	4280	13800	1173	»	10140	27.47	2785,4	433,0	38 85
5	4840	5510	1830	12180	1173	»	10490	27.82	2918,3	431,8	38 95
6	4920	7340	6160	18420	1173	»	10060	27.75	2791,6	435,4	38 80
7	4160	3880	7670	15710	1173	»	9540	27.80	2652,1	437,2	38 65
8	2210	6170	2210	10590	1173	»	9430	28.28	2666,8	436,5	38 85
9	5920	5980	5160	17060	1173	»	10010	28.02	2804,8	436,9	38 80
10	3320	4020	4460	11800	1173	»	9590	27.97	2682,3	436,0	38 75
11	3670	3560	4730	11960	1173	»	10630	27.53	2926,4	433,0	38 80
12	5120	4560	2750	12430	1173	»	9150	28.63	2619,6	432,8	38 75
13	6430	4770	5310	16510	1173	»	9200	28.92	2660,6	437,5	38 80
14	2580	4280	5610	12470	1173	»	10500	28.18	2958,9	437,0	38 85
15	4230	3080	4360	11670	1173	»	10020	29.93	2999,0	432,1	38 85
16	6720	2060	1810	12960	1173	»	10500	30.03	3153,1	430,4	38 85
17	6500	4190	6320	17010	1173	»	10210	29.50	3011,9	434,7	38 85
18	3020	5680	3070	11770	1173	»	10860	27.08	2940,9	432,0	38 75
19	6760	5330	5980	18070	1173	»	10350	27.18	2813,1	433,8	38 70
20	4620	3270	5740	13630	1173	»	10560	27.48	2901,9	434,7	38 65
21	5480	4620	4870	14970	1173	»	9890	26.92	2662,4	433,1	38 75
22	6920	4260	4500	15680	1173	»	10410	28.08	2923,1	431,5	38 45
23	6170	4820	3540	14530	1173	»	9590	27.20	2608,5	430,6	38 35
24	6430	5820	6920	19170	1173	»	9600	26.83	2575,7	432,0	38 40
25	3260	5310	5840	14410	1173	»	8360	27.10	2265,6	429,5	39 25
26	»	5770	1620	7390	1173	»	8840	24.70	2183,5	422,8	38 45
27	»	6620	2990	9610	1173	»	7460	23.67	1765,8	422,0	38 95
28	7030	1080	2430	10540	1173	»	9200	23.92	2200,6	422,6	38 35
Moyennes.	4696	4502	4743	13941	1173	15114	9854	»	2711,6	432,5	38 71

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

DATE. — Février 1887.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	5060	1750	5070	11880	1173	»	9970	28.48	2839,4	419,7	38 50
2	5130	3940	4720	13790	1173	»	9310	28.23	2628,2	450,3	38 55
3	6880	4720	3870	15470	1173	»	9130	27.85	2542,7	450,8	38 55
4	6110	4230	5880	16200	1173	»	8920	28.82	2570,7	453,5	38 80
5	3190	8090	»	11280	1173	»	8870	28.63	2539,5	449,1	38 85
6	8770	3950	2470	15190	1173	»	10200	28.68	2925,3	450,4	38 80
7	5140	6770	2280	14190	1173	»	10270	27.77	2851,9	447,0	38 70
8	5090	2390	3040	10520	1173	»	8820	29.20	2575,4	446,5	38 75
9	8910	3380	1650	13940	1173	»	10130	27.38	2773,6	446,3	38 85
10	7540	1510	2140	11190	1173	»	10810	28.12	3039,7	441,0	38 80
11	6340	»	5750	12090	1173	»	9770	28.18	2753,2	443,0	38 90
12	6800	1860	2610	11270	1173	»	9690	29.35	2844,2	441,9	38 95
13	7790	1620	4550	13960	1173	»	10030	28.45	2853,5	444,4	38 90
14	5940	4570	3420	13930	1173	»	9290	28.63	2659,7	445,6	38 80
15	6290	4130	840	11260	1173	»	10450	32.72	3419,2	442,1	38 90
16	5090	3590	2090	10770	1173	»	9680	28.32	2741,3	442,0	38 80
17	6760	3460	2760	12980	1173	»	10070	28.13	2832,7	442,0	38 90
18	5070	4160	1240	10470	1173	»	10410	28.43	2959,5	439,7	38 80
19	7610	2310	2450	12370	1173	»	9750	31.92	3112,2	441,2	38 80
20	9120	3180	»	12300	1173	»	10180	30.65	3120,1	440,3	38 80
21	8890	3360	1050	13300	1173	»	9900	31.12	3080,9	440,9	38 70
22	7980	580	3840	12400	1173	»	9830	28.43	2794,6	439,5	38 60
23	7780	3530	1310	12620	1173	»	9790	28.28	2768,6	440,2	38 55
24	7530	5040	»	12570	1173	»	10750	27.77	2985,3	438,4	38 60
25	9900	»	5320	15220	1173	»	10310	28.17	2904,3	439,4	38 45
26	5820	6150	960	12930	1173	»	10300	27.52	2851,0	437,7	38 60
27	8620	4620	8850	22090	1173	»	11750	27.02	3174,8	436,5	38 40
28	10700	1750	1110	13560	1173	»	9530	27.72	2611,7	437,9	38 50
Moyennes.	6994	3380	2831	13105	1173	14178	9927	»	2819,4	443,5	38 71

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

DATE. — Mars 1887.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	3560	4170	5870	13600	1248	»	7520	29.62	2227,4	426,5	38 55
2	4350	3360	4780	12490	1248	»	9350	27.35	2557,2	422,9	38 45
3	4950	3410	4810	13170	1248	»	7950	30.05	2388,9	421,8	38 40
4	6530	4240	4510	15280	1248	»	8320	29.97	2493,5	422,3	38 40
5	7020	3580	6660	17260	1248	»	8180	29.12	2382,0	424,1	38 35
6	6970	»	8500	15470	1248	»	7480	28.27	2114,6	421,7	38 45
7	6340	1310	7360	15010	1248	»	6840	28.15	1925,5	422,5	38 30
8	3860	4940	5340	14140	1248	»	9040	38.07	3441,5	422,4	38 30
9	7120	2440	4970	14530	1248	»	7910	28.93	2288,4	423,2	38 35
10	7590	3600	3370	14560	1248	»	9210	29.08	2678,3	422,7	38 40
11	5670	1480	5440	12590	1248	»	9440	29.35	2770,6	420,5	38 35
12	7030	2760	7780	17570	1248	»	7810	29.70	2319,6	423,0	38 40
13	7160	4460	3950	15570	1248	»	8730	30.43	2656,5	422,2	38 40
14	7640	3420	5690	16750	1248	»	9160	27.15	2486,9	424,0	38 40
15	7580	4320	6120	18020	1248	»	8440	29.22	2466,1	424,2	38 35
16	5050	3180	6690	14920	1248	»	9310	28.73	2674,7	423,2	38 65
17	6160	4240	4820	15220	1248	»	10360	28.38	2940,2	419,9	38 70
18	6170	3770	6560	16500	1248	»	8100	32.90	2664,9	420,0	38 50
19	7470	2620	7390	17480	1248	»	7860	29.37	2308,5	419,5	38 45
20	4790	3360	6480	14630	1248	»	6990	28.45	1988,6	420,6	38 40
21	5280	2690	4410	12380	1248	»	8630	29.57	2551,9	419,0	38 45
22	7480	5210	4700	17390	1248	»	9600	28.10	2697,6	420,0	38 40
23	8620	4770	8030	21420	1248	»	9800	28.50	2793,0	420,7	38 30
24	6550	4020	6250	16820	1248	»	9760	29.03	2838,2	420,1	38 40
25	8690	3960	7250	19900	1248	»	10210	29.02	2962,9	420,6	38 55
26	8660	4280	7410	20350	1248	»	8770	28.35	2486,3	420,8	38 50
27	7270	5190	5500	17960	1248	»	10800	27.93	3016,4	417,4	38 50
28	6820	4250	6720	17790	1248	»	10430	29.63	3090,4	416,0	38 35
29	6180	5410	5590	17180	1248	»	9940	29.05	2887,6	416,1	38 40
30	9910	4880	5710	20500	1248	»	9800	29.68	2908,6	417,1	38 45
31	7980	3340	7540	18860	1248	»	10260	28.82	2956,9	417,9	38 40
Moyennes.	6660	3631	6006	16300	1248	17542	8903,2	»	2611,7	421,0	38 42

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

DATE. — Mars 1887.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr		Gr.	Kil.	Deg.
1	8330	2020	6490	16840	1402	»	11470	27.70	3177.2	439,4	38 60
2	8730	5180	2980	16890	1402	»	12600	26.88	3386,9	438,8	38 50
3	9790	4890	4280	18960	1402	»	13010	27.92	3632,4	439,7	38 45
4	8390	1670	9790	19850	1402	»	12750	27.68	3529,2	442,1	38 60
5	4640	6770	2250	12660	1402	»	12510	27.73	3469,0	437,0	38 50
6	7930	1460	10470	19860	1402	»	10950	27.70	3033,1	439,1	38 55
7	3290	7030	970	11290	1402	»	11210	29.03	3254,2	434,6	38 45
8	11210	4560	4470	20240	1402	»	11820	27.15	3209,1	438,4	38 50
9	7960	4540	5860	19360	1402	»	10950	26.68	2921,4	440,5	38 30
10	8680	5940	3930	18550	1402	»	12340	26.63	3286,1	438,1	38 35
11	6970	6280	1210	14460	1402	»	12190	26.75	3260,8	436,5	38 30
12	8250	5160	4770	18180	1402	»	11050	27.58	3047,6	438,3	38 30
13	7970	4390	3280	15640	1402	»	10900	28.58	3115,2	437,7	38 35
14	1220	9810	970	12000	1402	»	10930	28.17	3078,9	437,9	38 25
15	7520	5760	3620	16900	1402	»	11090	28.87	3201,7	438,1	38 30
16	7980	4200	3050	15230	1402	»	11090	29.13	3230,5	438,2	38 60
17	8930	3320	3680	15930	1402	»	12050	29.07	3502,9	439,9	38 50
18	9110	6480	»	15590	1402	»	13450	31.57	4246,1	437,5	38 60
19	7860	6030	2720	16610	1402	»	11870	29.60	3513,5	438,4	38 40
20	8510	2970	2310	13790	1402	»	12010	28.60	3434,8	436,0	38 45
21	9310	1970	3160	14470	1402	»	10870	30.35	3299,0	436,0	38 45
22	7120	5420	6120	18660	1402	»	11370	29.07	3305,2	437,2	38 45
23	5850	9750	690	16290	1402	»	11030	30.83	3400,5	435,0	38 40
24	8580	8080	2420	19080	1402	»	11700	31.75	3714,7	436,5	38 35
25	11560	2090	1350	15000	1402	»	12120	28.87	3499,0	432,9	38 35
26	12340	3320	3590	19250	1402	»	12230	28.58	3495,3	434,0	38 40
27	7950	2970	2320	13240	1402	»	11370	29.10	3308,7	430,1	38 45
28	8370	9920	5840	24130	1402	»	12220	29.00	3543,8	433,5	38 40
29	6540	6280	5380	18200	1402	»	11970	28.05	3357,6	433,3	38 40
30	7850	5860	1150	14860	1402	»	10720	28.93	3101,3	431,0	38 25
31	12130	3210	5190	20830	1402	»	11240	28.83	3240,5	434,9	38 35
Moyennes.	8103	5075	3687	16865	1402	18267	11712	»	3348,2	436,8	38 42

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

DATE. — Avril 1887.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	7930	4360	9020	21310	1319	»	10630	28.15	2992,3	415,5	38 60
2	7570	5350	7820	20740	1319	»	9810	30.97	3038,1	413,2	38 80
3	9190	6710	6470	22370	1319	»	11960	28.83	3448,0	414,2	38 95
4	10920	7180	9490	27590	1319	»	8900	30.28	2691,9	414,2	38 80
5	7460	7230	7750	22410	1319	»	10830	29.20	3162,4	411,1	38 85
6	8820	7310	8110	24270	1319	»	10340	29.60	3060,6	410,7	38 65
7	9300	5740	8140	23180	1319	»	11140	28.78	3206,1	410,0	38 60
8	9550	4870	8040	22460	1319	»	11320	29.33	3320,1	407,4	38 40
9	10280	6980	7880	25140	1319	»	10080	29.02	2925,2	408,0	38 55
10	8170	8260	7420	23850	1319	»	11090	29.33	3252,7	407,3	38 40
11	7860	3040	10390	21290	1319	»	9540	28.95	2761,8	402,1	38 45
12	12820	4470	9250	26540	1319	»	11410	27.98	3200,9	403,9	38 60
13	8410	7610	8680	24700	1319	»	11840	28.33	3354,3	403,9	38 75
14	7980	4580	8130	20690	1319	»	10590	29.80	3155,8	402,5	38 55
15	9230	5120	5640	20290	1319	»	10700	29.88	3197,1	400,5	38 75
16	9080	5430	8620	23130	1319	»	10710	29.42	3150,9	402,4	38 60
17	6960	6830	9890	23680	1319	»	11140	29.85	3325,3	399,8	38 55
18	8610	4670	10360	23640	1319	»	10300	29.68	3057,0	399,3	38 60
19	11050	5190	9290	25830	1319	»	11330	28.52	3231,3	398,6	38 65
20	8290	6870	8580	23740	1319	»	11010	29.67	3266,7	397,0	38 50
21	10210	6640	8580	25430	1319	»	9870	29.35	2896,8	396,6	38 50
22	9340	6080	9890	25310	1319	»	10510	28.88	3035,3	397,6	38 05
23	7990	7720	8900	24610	1319	»	10810	28.55	3086,2	396,1	38 80
21	8700	7680	9940	26320	1319	»	11380	28.17	3205,7	394,5	38 60
25	9420	7320	8910	25650	1319	»	10470	29.30	3067,7	391,5	38 45
26	11420	3320	10570	25310	1319	»	10450	29.23	3054,5	391,7	38 35
27	11760	5690	9100	26550	1319	»	12010	28.58	3422,4	395,1	38 65
28	11980	3210	8220	23410	1319	»	11580	28.40	3288,7	394,5	38 60
29	11390	4930	4320	20640	1319	»	10710	29.35	3143,4	391,0	38 45
30	11200	5740	1760	18700	1319	»	11310	29.83	3373,8	392,3	38 50
Moyennes.	9430	5892	8305	23627	1319	21946	10793	»	3142,8	402,3	38 58

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL n° 3.
(Numéro matricule 30334.)

DATE. — Avril 1887.	EAU BUE à 7 h du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	6980	2930	1710	11620	1166	»	12350	28.07	3466,6	432,3	38 25
2	7770	4920	760	13450	1166	»	11030	37.70	4158,3	430,5	38 40
3	9920	1590	3690	15200	1166	»	10970	29.13	3195,6	433,9	38 15
4	7420	4210	4600	16230	1166	»	9950	28.60	2845,7	433,5	38 35
5	4660	3780	1810	10250	1166	»	10770	28.25	3042,5	430,2	38 30
6	6540	4780	1730	13050	1166	»	10210	28.75	2935,3	431,5	38 45
7	8440	1120	2290	11850	1166	»	9770	28.68	2802,0	430,3	38 40
8	5110	6280	2320	13710	1166	»	9400	29.77	2798,4	431,9	38 25
9	4730	7820	850	13400	1166	»	10570	28.37	2998,7	431,8	38 20
10	9270	1730	1910	12910	1166	»	10630	28.02	2978,5	429,4	38 30
11	7060	»	9290	16350	1166	»	8440	28.62	2415,5	433,2	38 30
12	3750	3610	6030	13390	1166	»	10600	27.93	2960,6	434,1	38 20
13	6540	5730	660	12930	1166	»	10010	28.08	2810,8	434,3	38 15
14	6780	3450	2290	12520	1166	»	10370	28.28	2932,6	434,5	38 25
15	6320	3850	»	10170	1166	»	10520	29.60	3113,9	432,0	38 45
16	9180	3150	830	13160	1166	»	9560	29.32	2803,0	430,5	38 40
17	7960	3170	3180	14310	1166	»	11110	34.85	3882,3	430,6	38 30
18	6860	3480	2250	12590	1166	»	10570	30.55	3229,1	430,0	38 20
19	9910	2710	3190	15810	1166	»	11330	30.63	3470,4	429,8	38 15
20	9140	1430	6630	17200	1166	»	9230	30.73	2836,4	432,5	38 15
21	6030	6020	970	13020	1166	»	11030	29.92	3300,2	429,0	38 10
22	12310	1420	5370	19100	1166	»	10560	28.88	3049,7	430,4	38 10
23	6680	7020	2220	15920	1166	»	10070	29.15	2935,4	431,0	38 15
24	6820	5520	5270	17620	1166	»	9290	32.93	3059,2	433,2	38 20
25	8290	3090	6190	17570	1166	»	10510	31.82	3344,3	433,0	38 05
26	7990	3180	3360	14530	1166	»	9880	30.70	3033,2	434,1	38 10
27	9230	5130	1430	15790	1166	»	10490	29.12	3054,7	431,6	38 20
28	10810	2720	1320	14850	1166	»	10150	28.68	2911,0	430,2	38 15
29	10320	4220	1160	15700	1166	»	10830	28.98	3138,5	431,2	38 10
30	7240	2190	1310	10740	1166	»	10770	28.90	3112,5	430,2	38 05
Moyennes.	7668	3675	2820	14163	1166	15329	10366,6	»	3087,1	431,6	38 26

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

DATE. — Mai 1887.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	11930	5030	10040	27000	1320	»	12210	27.60	3369,9	392,0	38 75
2	8490	7990	8830	25310	1320	»	10600	29.35	3111,1	388,8	38 80
3	11810	9410	10720	31940	1320	»	10660	29.38	3131,9	390,4	38 60
4	7030	9690	9410	26130	1320	»	10790	30.65	3307,1	389,9	38 45
5	8600	7760	10150	26510	1320	»	11980	27.55	3300,5	388,0	38 80
6	9740	6720	11980	27410	1320	»	12070	29.43	3552,2	387,0	38 60
7	10160	7230	9150	26540	1320	»	11830	29.33	3169,7	387,2	38 60
8	10480	7210	11120	28810	1320	»	11160	29.23	3262,1	387,9	38 55
9	8940	7480	10840	27260	1320	»	11010	30.63	3372,4	383,9	38 60
10	7640	10250	10590	28480	1320	»	10690	29.08	3108,6	383,7	38 45
11	9720	12000	7530	29250	1320	»	11270	28.70	3234,5	380,8	38 65
12	10980	7900	12320	31200	1320	»	12200	28.35	3458,7	383,2	38 55
13	11450	6200	11080	28730	1320	»	12620	29.40	3710,3	382,7	38 40
14	8130	6700	10350	25180	1320	»	12010	27.77	3335,2	381,8	38 60
15	11140	7850	11750	30740	1320	»	12070	28.00	3379,6	381,6	38 45
16	13140	5720	10720	29580	1320	»	10630	31.33	3330,4	379,9	38 85
17	13600	7870	11110	32580	1320	»	12260	29.52	3619,1	378,6	38 45
18	10100	6430	11810	28340	1320	»	10500	29.97	3146,8	378,2	38 65
19	11150	6530	4460	29140	1320	»	12300	30.18	3712,1	379,0	39 00
20	9420	7100	10520	27040	1320	»	11280	29.62	3341,1	378,8	38 60
21	10260	4310	10910	25480	1320	»	12150	29.13	3539,3	377,3	38 70
22	8790	7880	8430	25100	1320	»	11250	31.52	3546,0	376,9	39 00
23	9980	4920	12420	27320	1320	»	11750	30.38	3569,6	377,9	38 65
24	8260	7690	9900	25850	1320	»	11180	32.80	3667,0	376,0	38 80
25	10380	5730	10390	26500	1320	»	11830	32.20	3809,2	377,2	38 65
26	10330	5700	10560	26590	1320	»	11370	32.12	3652,0	377,1	38 70
27	10580	6780	10530	27890	1320	»	11450	32.00	3664,0	376,3	39 05
28	9680	8910	9990	28580	1320	»	11570	31.37	3629,5	375,0	38 80
29	10530	9310	9050	28890	1320	»	11450	29.82	3414,4	377,2	38 65
30	9510	9030	8170	26710	1320	»	12840	30.33	3894,4	376,0	38 70
31	11030	7780	12940	31750	1320	»	11680	30.50	3562,4	375,0	38 65
Moyennes.	10096	7155	10218	27769	1320	29089	11570	»	3458,1	381,4	38 66

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

DATE. — Mai 1887.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	9190	5980	6560	21730	1320	»	10720	27.87	2987,7	434,3	38 35
2	6080	7810	6570	20460	1320	»	11380	28.22	3211,4	433,2	38 30
3	11790	8590	8340	28720	1320	»	11530	29.50	3401,3	437,1	38 00
4	8130	9860	4410	22400	1320	»	12250	26.78	3280,5	436,7	38 20
5	10010	7530	8650	26190	1320	»	13570	25.33	3437,3	438,0	38 05
6	9040	7190	6670	22900	1320	»	14080	26.85	3780,5	434,0	38 10
7	10760	7160	4300	22220	1320	»	13480	25.67	3460,3	432,2	38 10
8	11860	7630	9090	28580	1320	»	12630	26.82	3387,3	431,0	38 00
9	11070	7940	5630	24640	1320	»	11980	28.72	3440,6	430,7	38 20
10	12120	8180	5400	25700	1320	»	12830	28.05	3598,8	432,4	38 10
11	11820	6050	7040	24910	1320	»	11510	27.68	3185,9	430,7	38 20
12	13430	6850	6520	26800	1320	»	12780	29.38	3754,8	429,4	38 40
13	11600	2780	3640	18020	1320	»	12100	28.90	3496,9	428,4	38 10
14	12740	6860	8440	28040	1320	»	12280	27.42	3367,2	429,9	38 10
15	7120	6920	6310	20350	1320	»	12150	28.22	3428,7	428,5	38 20
16	13760	4510	5620	23890	1320	»	13310	27.13	3611,0	427,0	38 10
17	14740	4570	9870	29180	1320	»	13630	27.80	3789,1	429,8	38 10
18	8920	6310	7680	22910	1320	»	12810	26.18	3353,6	429,4	38 05
19	9620	5670	3930	19220	1320	»	13230	27.08	3582,7	425,6	38 20
20	14080	6300	2750	23130	1320	»	13920	27.47	3823,8	425,4	38 10
21	11060	5790	3440	20290	1320	»	13120	28.58	3749,7	424,0	38 20
22	11400	3440	6740	21580	1320	»	13120	27.72	3636,8	424,7	38 10
23	10570	4880	8180	23630	1320	»	13700	26.90	3685,3	426,7	38 10
24	8810	6850	4680	20340	1320	»	12970	29.62	3841,7	424,5	38 15
25	9930	8300	5610	23840	1320	»	12480	29.48	3679,1	427,4	38 05
26	8190	6180	7030	21400	1320	»	13900	26.68	3708,5	426,0	38 05
27	9800	4730	6760	21290	1320	»	14740	27.22	4012,2	423,1	38 35
28	10430	7050	8570	26050	1320	»	13010	27.15	3532,2	422,9	38 25
29	9640	7600	2880	20120	1320	»	12700	27.58	3502,7	422,5	38 20
30	12240	4360	8830	25430	1320	»	13750	27.60	3795,0	425,5	38 30
31	12260	5590	8700	26550	1320	»	13970	27.60	3855,7	425,3	38 05
Moyennes.	10716	6434	6414	23564	1320	24884	12891	»	3560,6	429,3	38 15

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

DATE. — Juin 1887.	EAU BUE à 7 h. du matin.	EAU BUE à 12 h. du matin.	EAU BUE à 6 h. du soir.	EAU BUE totale	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	9650	4810	5910	20370	»	»	11600	29.10	3375,6	376,0	38 55
2	9580	6670	4260	20510	»	»	11300	29.65	3350,4	380,5	38 30
3	8640	4570	6350	19560	»	»	11510	29.58	3404,6	381,0	38 60
4	7180	7300	6910	21390	»	»	11440	29.67	3391,2	378,6	38 90
5	10930	4230	8790	23950	»	»	12100	29.45	3563,4	380,0	38 55
6	9160	4380	7930	21470	»	»	10530	30.73	3235,8	379,4	38 40
7	11100	5320	7890	24310	»	»	11840	29.20	3157,3	380,1	38 45
8	11340	5150	10330	27120	»	»	11130	30.08	3347,9	381,6	38 40
9	13300	6650	6420	26370	»	»	10460	30.17	3155,8	382,0	38 50
10	11050	4150	8410	23910	»	»	11870	29.90	3549,1	384,1	38 60
11	11720	6500	8930	27150	»	»	11850	31.77	3764,7	385,5	38 50
12	10770	7820	9050	27640	»	»	12580	29.65	3730,0	384,5	38 50
13	11120	7520	6380	25020	»	»	11850	29.13	3451,9	386,0	38 45
14	13770	6160	8320	28250	»	»	12470	28.53	3557,7	385,4	38 65
15	13850	8740	8700	31290	»	»	10580	29.28	3097,8	387,7	38 40
16	11680	5830	10220	27730	»	»	12150	29.33	3563,6	386,3	38 40
17	12710	6840	8900	28450	»	»	12150	31.12	3781,1	385,6	38 45
18	13260	4620	10730	28610	»	»	12250	31.60	3871,0	386,7	38 50
19	11990	6370	11540	29900	»	»	12390	35.20	4361,3	387,5	38 40
20	10450	5980	9220	25650	»	»	10300	31.03	3196,1	389,1	38 60
21	10900	5720	9310	25930	»	»	11450	28.40	3251,8	390,0	38 40
22	11410	6480	8260	26150	»	»	12960	31.13	4034,4	389,2	38 60
23	12480	4980	9460	26920	»	»	12820	29.27	3752,4	390,6	38 50
24	10210	5970	10660	26840	»	»	11410	29.83	3403,6	390,5	38 30
25	5880	7680	9770	23330	»	»	11790	29.36	3461,5	390,0	38 20
26	10940	6440	8710	26090	»	»	11370	29.58	3363,2	392,4	38 30
27	10410	5090	10730	26230	»	»	13200	29.68	3917,7	393,9	38 50
28	11390	5400	7190	23980	»	»	11400	29.45	3357,3	395,5	38 80
29	12040	6170	6440	24650	»	»	13100	27.78	3639,2	396,0	38 80
30	11450	6340	9080	26870	»	»	12000	28.65	3438,0	396,5	38 60
Moyennes.	11012	6016	8493	25521	1347	26868	11795	»	3527,6	386,4	38 50

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

DATE. — Juin 1887.	EAU BUE à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.	EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr	Gr.	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	10510	7500	6550	24560	1347	»	12420	28.13	3493,7	423,4	38 40
2	14340	6010	8330	28680	1347	»	13490	29.75	4013,3	424,7	38 30
3	11120	2340	10520	23980	1347	»	11160	29.55	3297,8	426,3	38 05
4	11010	3060	5580	19650	1347	»	13680	28.20	3857,7	423,4	38 10
5	12660	7930	3970	24560	1347	»	12300	28.18	3166,1	422,3	38 20
6	12440	8910	6470	27820	1347	»	13000	27.03	3513,9	423,0	38 35
7	13350	9380	9530	32260	1347	»	12850	27.43	3524,7	424,5	38 20
8	13470	9370	11750	34590	1347	»	13050	27.08	3533,9	425,3	38 30
9	12790	10540	6410	29740	1347	»	14380	26.25	3774,7	421,4	38 15
10	15270	7880	7720	30870	1347	»	13600	28.20	3835,2	421,7	38 20
11	13510	12040	5980	31530	1347	»	13160	27.75	3651,9	422,4	38 10
12	13650	8560	9290	31500	1347	»	14160	27.63	3912,4	422,5	38 10
13	14850	8650	9980	33480	1347	»	11950	28.03	3349,6	423,0	38 50
14	15200	9210	9040	33450	1347	»	13720	27.62	3789,4	423,3	38 30
15	14910	10140	9970	35020	1347	»	14430	26.88	3878,8	421,7	38 30
16	14550	9660	12920	37130	1347	»	13470	27.83	3748,7	421,5	38 20
17	14550	10190	7610	32350	1347	»	13435	29.48	3960,6	419,8	38 30
18	14610	9590	11810	36010	1347	»	13850	28.63	3965,2	420,7	38 40
19	15470	9240	9640	34350	1347	»	13570	31.60	4288,1	420,3	38 50
20	14180	8700	7710	30590	1347	»	12900	29.90	3857,1	416,7	38 40
21	13920	9360	6450	29730	1347	»	13060	27.65	3611,1	421,0	38 20
22	14790	8120	6160	29070	1347	»	13430	34.16	4587,7	421,0	38 30
23	13100	10760	7200	31060	1347	»	13060	28.37	3705,1	420,5	38 40
24	11310	9650	9920	30880	1347	»	10890	28.30	3081,9	421,6	38 30
25	13130	10730	7200	31060	1347	»	14680	28.15	4132,4	420,5	38 40
26	13550	8370	8420	30340	1347	»	13730	28.33	3889,7	420,4	38 40
27	13260	8030	7510	28800	1347	»	13300	27.76	3692,1	418,0	38 20
28	13800	7760	8540	30100	1347	»	13050	28.46	3714,0	418,0	38 40
29	11390	8190	8790	28370	1347	»	13170	27.00	3555,9	417,0	38 20
30	13170	7100	7990	28260	1347	»	13370	26.63	3560,4	417,5	38 30
Moyennes.	13462	8565	8298	30325	1347	31672	13210,5	»	3741,4	421,4	38 30

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 1.
(Numéro matricule 29662.)

DATE. — Juillet 1887.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr	Gr.	Gr.		Gr.	Kil.	Deg.
1	7120	10920	13530	31570	1063	»	»	23.08	»	374,5	38 80
2	14110	6830	7470	28410	1063	»	12450	29.13	3626,7	381,7	38 60
3	13640	14040	14460	42140	1063	»	13150	28.68	3771,4	371,4	38 80
4	14350	8130	9600	32080	1063	»	14520	29.91	4312,9	378,5	39 00
5	15300	14370	8640	38310	1063	»	15520	28.83	4474,4	376,2	38 80
6	13020	7720	7080	27820	1063	»	14680	28.35	4161,8	384,7	38 60
7	11100	11550	14910	37560	1063	»	17030	27.17	4627,0	368,5	38 40
8	14310	10960	9310	34610	1063	»	13300	29.86	3971,4	383,0	39 00
9	13060	13360	13620	40040	1063	»	15100	30.78	4647,8	376,5	38 60
10	13620	6890	7260	27770	1063	»	13340	33.46	4463,6	384,5	38 90
11	14030	12020	13480	39530	1063	»	13130	31.20	4096,5	383,0	38 60
12	9490	6090	7050	22630	1063	»	12400	23.97	2972,3	385,9	38 60
13	10770	12370	11890	35030	1063	»	14220	23.97	3408,5	361,5	39 30
14	12420	3540	7310	23270	1063	»	12320	30.68	3779,8	370,0	38 80
15	12480	5650	7170	25300	1063	»	10810	32.88	3551,3	380,8	38 60
16	10250	12150	4590	27020	1063	»	13880	21.96	3161,4	372,0	38 70
17	12740	4970	6980	24690	1063	»	12350	36.06	4453,4	380,0	38 70
18	9320	13370	11810	37500	1063	»	12640	28.72	3630,2	376,5	38 60
19	11190	5350	9050	25590	1063	»	13890	28.66	3989,9	382,3	39 10
20	9420	13580	14070	37070	1063	»	15850	28.08	4450,7	375,5	38 80
21	12390	8500	7010	27900	1063	»	14820	24.70	3660,5	383,0	38 80
22	13120	12390	14280	39790	1063	»	16840	21.75	3662,7	376,9	38 60
23	9530	5620	8990	23140	1063	»	13530	26.81	3627,1	381,5	39 00
24	11710	12670	14750	39130	1063	»	13290	28.70	3814,2	374,5	38 30
25	11320	6810	9240	27370	1063	»	11610	29.28	3399,4	382,0	39 00
26	8330	14160	14380	36870	1063	»	14500	29.93	4339,8	366,8	38 60
27	14710	6410	7690	28810	1063	»	11830	30.43	3599,8	376,0	38 80
28	11320	13570	15380	40270	1063	»	13050	22.77	2971,5	371,0	38 60
29	11330	8470	8820	28620	1063	»	12640	30.17	3813,5	377,5	»
30	10750	14210	11260	36220	1063	»	13050	22.67	2958,4	372,8	»
31	7190	4530	10050	21770	1063	»	8960	33.97	3043,7	376,0	»
Moyennes.	11724	9716	10457	31897	1063	32960	13490	»	3825,6	377,0	38 75

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES SUR L'ALIMENTATION DU CHEVAL DE TRAIT.

CHEVAL N° 3.
(Numéro matricule 30334.)

DATE. — Juillet 1887.	EAU BUE				EAU du fourrage.	EAU totale consommée par jour.	POIDS des fèces.	MATIÈRE sèche p. 100 de fèces.	MATIÈRE sèche des fèces.	POIDS du cheval à 7 h. du matin.	TEMPÉRATURE du cheval à 7 h. du matin.
	à 7 h. du matin.	à 12 h. du matin.	à 6 h. du soir.	totale.							
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.		Gr	Kil.	Deg.
1	11750	8380	6860	26990	1069	»	16030	27.01	4329,7	410,7	38 40
2	14760	14060	14390	43210	1069	»	11450	30.00	3435,0	413,5	38 30
3	12540	9310	7970	29850	1069	»	14090	31.75	4473,6	410,1	38 40
4	15210	15670	15190	46070	1069	»	13430	29.76	3996,7	410,2	38 35
5	13230	9030	6150	28410	1069	»	12820	28.06	3597,3	413,5	38 60
6	12960	14150	13790	40900	1069	»	12490	29.28	3657,0	414,0	38 00
7	9940	3920	5820	19680	1069	»	14970	29.22	4374,2	411,9	38 40
8	14480	14710	14910	44300	1069	»	10770	31.26	3366,7	411,1	38 40
9	14930	8000	5850	28780	1069	»	14960	31.23	4672,0	415,6	38 40
10	13890	14670	6860	35420	1069	»	14370	34.31	4930,3	408,9	38 40
11	15200	8190	5160	28550	1069	»	13320	29.78	3966,7	415,2	38 20
12	13460	14690	11430	39580	1069	»	14150	26.43	3739,8	409,8	38 40
13	9750	10600	4150	21500	1069	»	13170	26.13	3180,8	413,7	38 40
14	14360	3660	6310	21330	1069	»	12480	26.11	3258,5	418,1	38 20
15	11500	13680	11390	36570	1069	»	13730	26.38	3621,9	413,0	38 10
16	11840	10170	6070	28080	1069	»	13630	26.30	3584,7	416,0	38 20
17	11870	14590	12110	38570	1069	»	13850	37.55	5200,7	411,3	38 20
18	10170	7820	6580	24570	1069	»	14470	26.27	3801,3	411,1	38 60
19	10580	14300	14850	39730	1069	»	11830	30.71	3633,0	409,5	38 50
20	10670	6900	5520	23090	1069	»	12140	28.22	3125,9	412,4	38 60
21	13170	14560	13600	41330	1069	»	13050	26.89	3497,4	410,5	38 30
22	13770	8250	2960	21980	1069	»	12280	29.83	3663,1	414,5	38 40
23	12980	15320	14910	43210	1069	»	13260	27.86	3694,2	412,5	38 10
24	11110	8290	4100	23500	1069	»	12870	27.93	3594,6	412,7	38 10
25	13490	15440	15150	41080	1069	»	12630	31.30	3953,2	411,5	38 20
26	12830	9650	1730	24210	1069	»	13030	28.40	3700,5	413,5	38 50
27	14600	14810	14240	43650	1069	»	13050	29.15	3813,2	411,0	38 00
28	14990	7870	2450	25310	1069	»	12870	28.52	3670,5	413,0	38 10
29	14890	18520	14910	18320	1069	»	12540	28.07	3519,9	409,5	»
30	13500	5270	5980	24750	1069	»	12370	29.73	3677,6	414,8	»
31	8510	11490	14370	37370	1069	»	12390	31.03	3844,6	408,4	»
Moyennes.	12804	11258	9218	33280	1069	34349	13172	»	3845,3	412,3	38 32

COMPOSITION CENTÉSIMALE DES AVOINES ET DES PAILLES.

Les avoines et les pailles d'avoine qui ont servi aux essais avaient les compositions centésimales suivantes :

	EAU.	CENDRES.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
Avoines.								
Juillet 1886	12.49	3.45	1.79	9.90	43.11	4.60	13.70	23.[illegible]5
Août 1886	12.71	3.70	1.15	11.55	47.14	4.22	13.45	18.79
Septembre 1886	12.06	3.50	1.30	8.25	46.25	4 28	12.19	24.23
Octobre 1886.	12.08	3.40	1.19	7.95	48.22	4.47	12.24	22.53
Novembre 1886.	12.82	3.80	0.95	8.10	49.37	4.52	12.28	20.98
Décembre 1886.	13.46	3.70	1.09	8.15	51.25	4.60	11.95	19.26
Janvier 1887.	13.73	3.80	1.14	7.70	53.75	4.25	12.00	17.36
Février 1887.	14.02	3.50	1.41	7.50	53.12	4 23	11.90	18.31
Mars 1887	15.35	3.80	0.70	8.60	39 38	4.04	11.80	31.68
Avril 1887	15.24	3.40	0.80	8.15	49.37	3.95	11.70	22.63
Mai 1887.	14.73	3.80	0.74	8.45	58.12	4.50	11.90	12.49
Juin 1887	15.73	3.70	0.70	8.00	47.50	4.13	11.70	21.27
Juillet 1887	12.44	3.40	0.99	9.70	54.37	4.35	11.60	15.59
Pailles d'avoine.								
Juillet 1886	10.15	6.70	0.79	28.02	6.75	2.08	3.20	52.46
Août 1883	10.56	6.20	1.39	27.00	7.75	1.99	3.00	52.67
Septembre 1886	8.43	6.10	1.09	28.21	5.25	2.02	3.25	54.05
Octobre 1886.	9.83	7.00	1.09	27.21	5.50	2.08	3.55	53.54
Novembre 1886.	11.05	6.60	1.09	25.50	4.50	2.42	3.30	56.59
Décembre 1886.	15.53	6.50	1.04	26.48	7.75	2.17	3.35	52.71
Janvier 1887.	15.88	5.80	1.09	32.30	6.00	2.30	3.20	49.31
Février 1887.	16.05	6.30	0.79	32.68	4.50	1.74	3.85	50.14
Mars 1887	16.14	6.30	0.79	33.02	3.75	1.45	3.05	51.64
Avril 1887	13.14	7.60	0.49	30.58	4.00	1.55	3.10	52.68
Mai 1887.	11.56	7.50	0.49	32.52	3.75	1.52	3.40	50.82
Juin 1887	9.84	6.20	0.38	33.00	3.25	2.18	3.40	51.59
Juillet 1887	7.92	6.30	0.38	32.46	3.25	1.67	3.70	52.24

COMPOSITION CENTÉSIMALE DES FÈCES.

Les échantillons moyens des fèces desséchées à 100 degrés dans le vide avaient les compositions centésimales suivantes (rapportées à la matière sèche) :

		CENDRES.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
Juillet 1886	Cheval nº 1	9.80	»	20.22	5.00	3.40	8.54	53.04
	Cheval nº 3	7.90	»	21.48	4.25	2.96	10.20	53.21
Août 1886	Cheval nº 1	7.10	»	23.46	4.50	2.57	7.14	55.23
	Cheval nº 3	6.10	»	24.20	6.50	2.73	7.54	52.93
Septembre 1886	Cheval nº 1	6.70	»	24.70	5.25	2.98	6.64	53.73
	Cheval nº 3	6.60	»	24.28	7.00	2.88	8.79	50.45
Octobre 1886	Cheval nº 1	6.20	»	22.68	5.37	3.31	6.79	55.65
	Cheval nº 3	6.90	»	22.31	6.62	3.66	8.59	51.89
Novembre 1886	Cheval nº 1	7.60	»	21.86	5.87	4.34	6.70	53.63
	Cheval nº 3	7.20	»	21.52	6.00	3.48	7.99	53.81
Décembre 1886	Cheval nº 1	8.30	»	20.14	3.48	3.30	6.99	57.79
	Cheval nº 3	7.50	»	22.36	4.87	3.05	8.81	53.38
Janvier 1887	Cheval nº 1	8.60	»	22.96	5.12	2.87	6.60	53.85
	Cheval nº 3	8.20	»	23.68	5.50	2.85	8.01	51.73
Février 1887	Cheval nº 1	8.70	»	27.44	1.75	2.89	6.90	52.32
	Cheval nº 3	8.20	»	29.12	2.25	2.80	7.99	49.64
Mars 1887	Cheval nº 1	11.30	»	30.40	3.75	2.43	6.99	45.13
	Cheval nº 3	10.10	»	26.60	3.00	2.51	8.39	49.40
Avril 1887	Cheval nº 1	10.50	»	25.68	1.75	2.73	7.10	52.24
	Cheval nº 3	10.20	»	24.96	5.50	2.68	8.29	48.37
Mai 1887	Cheval nº 1	9.20	»	27.16	2.25	2.53	7.39	51.47
	Cheval nº 3	8.60	»	25.68	2.50	2.38	8.59	52.25
Juin 1887	Cheval nº 1	8.50	»	24.50	3.75	2.10	6.99	54.16
	Cheval nº 3	8.40	»	24.10	1.75	2.38	8.39	54.98
Juillet 1887	Cheval nº 1	9.50	»	24.62	3.50	2.33	8.19	51.86
	Cheval nº 3	9.20	»	24.10	1.50	2.33	8.49	54.38

Les documents analytiques précédents permettent de dresser les tableaux suivants qui indiquent :

1° La composition moyenne de la ration moyenne journalière ;

2° La composition moyenne correspondante des fèces rendues ;

3° La quantité de chacun des principes immédiats digérés ;

4° Et le coefficient de digestibilité de chacun de ces mêmes principes.

MOIS de juillet 1886.	MATIÈRE sèche.	CENDRES.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1.									
Avoine	3876,0	133,7	3742,3	69,4	383,7	1670,9	178,3	531,0	909,0
Paille	1195,0	80,1	1114,9	9,4	334,8	80,7	24,9	38,2	626,9
A reçu.	5071,0	213,8	4857,2	78,8	718,5	1751,6	203,2	569,2	1535,9
A rendu	1955,2	191,6	1763,6	»	395,3	97,7	66,5	167,0	1037,1
A digéré.	3115,8	22,2	3093,6	78,8	323,2	1653,9	136,7	402,2	498,8
Coefficient. . . .	61.44	»	63.69	100.0	44.98	94.42	67.27	70.66	32.47
Cheval n° 3.									
Avoine	3913,0	135,0	3778,0	70,0	387,4	1686,9	180,0	536,1	917,6
Paille	1200,0	80,4	1119,6	9,5	336,2	81,0	25,0	38,4	629,5
A reçu.	5113,0	215,4	4897,6	79,5	723,6	1767,9	205,0	574,5	1547,1
A rendu	1898,7	150,0	1748,7	»	407,8	80,7	56,2	193,7	1010,3
A digéré.	3214,3	65,4	3148,9	79,5	315,8	1687,2	148,8	380,8	536,8
Coefficient. . . .	62.86	»	64.29	100.0	43.63	95.43	72.58	66.28	31.69

MOIS d'août 1886.	MATIÈRE sèche.	CENDRES.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1.									
Avoine	4801,0	177,6	4623,4	55,2	554,5	2263,3	202,6	645,6	902,2
Paille	2019,0	123,2	1895,8	22,0	570,2	106,0	40,8	65,6	1091,2
A reçu.	6820,0	300,8	6519,2	77,2	1124,7	2373,3	243,4	711,2	1993,4
A rendu	2633,2	186,9	2146,3	»	617,7	118,5	67,7	188,0	1454,4
A digéré.	4186,8	113,9	4072,9	77,2	507,0	2254,8	175,7	523,2	539,0
Coefficient. . . .	61.39	»	62.47	100.0	45.09	95.00	72.18	73.56	27.03
Cheval n° 3.									
A reçu.	6820,0	300,8	6519,2	77,2	1124,7	2373,3	243,4	711,2	1993,4
A rendu	2817,4	171,9	2645,5	»	681,8	183,1	76,9	212,4	1491,3
A digéré.	4002,6	128,9	3873,7	77,2	442,9	2190,2	166,5	498,8	502,1
Coefficient. . . .	58,68	»	59.41	100.0	39.37	92.28	68.40	70.13	23.18

MOIS de septembre 1886.	MATIÈRE sèche.	CENDRES.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1.									
Avoine	4837,0	169,3	4667,7	62,9	399,1	2237,1	207,0	589,6	1172,0
Paille	2289,0	139,6	2149,4	25,0	646,4	120,2	46,2	74,4	1237,2
A reçu	7126,0	308,9	6817,1	87,9	1045,5	2357,3	253,2	664,0	2409,2
A rendu	2876,1	192,7	2683,4	»	710,4	151,0	85,7	191,0	1545,3
A digéré	4249,9	116,2	4133,7	87,9	335,1	2206,3	167,5	473,0	863,9
Coefficient	59.63	»	60.63	100.0	32.05	93.59	66.12	71.23	35.85
Cheval n° 3.									
A reçu	7126,0	308,9	6817,1	87,9	1045,5	2357,3	253,2	664,0	2409,2
A rendu	2985,5	197,0	2788,5	»	724,9	209,0	86,0	262,4	1506,2
A digéré	4140,5	111,9	4028,6	87,9	320,6	2148,3	167,2	401,6	903,0
Coefficient	58.10	»	59.09	100.0	30.66	91.13	66.03	60.48	37.47

MOIS d'octobre 1886.	MATIÈRE sèche.	CENDRES.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1.									
Avoine	4835,0	164,4	4670,6	57,5	384,4	2331,4	216,1	591,8	1089,4
Paille	2254,0	157,8	2096,2	24,6	613,9	124,0	46,9	80,0	1206,8
A reçu	7089,0	322,2	6766,8	82,1	998,3	2455,4	263,0	671,8	2296,2
A rendu	2893,6	179,4	2714,2	»	656,3	155,4	95,8	196,5	1610,2
A digéré	4195,4	142,8	4052,6	82,1	342,0	2300,0	167,2	475,3	686,0
Coefficient	59.18	»	59.88	100.0	34.25	93.67	63.57	70,75	29,87
Cheval n° 3.									
A reçu	7089,0	322,2	6766,8	82,1	998,3	2455,4	263,0	671,8	2296,2
A rendu	2950,1	203,6	2746,5	»	659,1	195,3	108,0	253,4	1530,7
A digéré	4138,9	118,6	4020,3	82,1	339,2	2260,1	155,0	418,4	765,5
Coefficient	58.38	»	59.41	100.0	33.97	92,04	58.93	62.28	33.33

MOIS de novembre 1886.	MATIÈRE sèche.	CENDRES.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1.									
Avoine	4795,0	182,2	4612,8	45,6	388,4	2367,3	216,7	588,8	1006,0
Paille	2224,0	146,8	2077,2	24,2	567,1	100,1	53,8	73,4	1258,6
A reçu.	7019,0	329,0	6690,0	69,8	945,5	2467,4	270,5	662,2	2264,6
A rendu.	2858,2	217,2	2641,0	»	624,8	167,8	124,0	191,5	1532,9
A digéré.	4160,8	111,8	4019,0	69,8	320,7	2299,6	146,5	470,7	731,7
Coefficient. . . .	59.27	»	60.52	100.0	33.91	93.19	54.15	71.08	32.31
Cheval n° 3.									
A reçu.	7019,0	329,0	6690,0	69,8	945,5	2467,4	270,5	662,2	2264,6
A rendu.	3012,6	216,9	2795,7	»	648,3	180,7	104,8	240,7	1621,2
A digéré.	4006,4	112,1	3894,3	69,8	297,2	2286,7	165,7	421,5	643,4
Coefficient. . . .	57.07	»	58,21	100.0	31.43	92.67	61.25	63.65	28.41

MOIS de décembre 1886.	MATIÈRE sèche.	CENDRES.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1.									
Avoine	4760,0	176,1	4583,9	51,9	387,9	2439,5	219,0	568,8	916,8
Paille	2112,0	137,3	1974,7	22,0	559,2	163,7	45,8	70,8	1113,2
A reçu.	6872,0	313,4	6558,6	73,9	947,1	2603,2	264,8	639,6	2030,0
A rendu.	2773,2	230,2	2543,0	»	558,5	96,5	91,5	193,8	1602,7
A digéré.	4098,8	83,2	4015,6	73,9	388,6	2506,7	173,3	445,8	427,3
Coefficient. . . .	59.64	»	61.22	100.0	41.03	96.29	65.44	69.69	21.04
Cheval n° 3.									
A reçu	6872,0	313,4	6558,6	73,9	947,1	2603,2	264,8	639,6	2030,0
A rendu.	2788,7	209,2	2579,5	»	623,6	135,8	85,1	246,5	1488,5
A digéré.	4083,3	104,2	3979,1	73,9	323,5	2467,4	189,7	393,1	541,5
Coefficient. . . .	59.41	»	60.67	100.0	34.15	94.78	71.63	61.46	26.67

MOIS de janvier 1887.	MATIÈRE sèche.	CENDRES.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1.									
Avoine	4745,0	180,3	4564,7	51,1	365,4	2550,4	201,7	569,4	823,7
Paille	2103,0	122,0	1981,0	22,9	679,2	126,2	48,4	67,3	1037,0
A reçu.	6818,0	302,3	6545,7	77,0	1044,6	2676,6	250,1	636,7	1860,7
A rendu	2740,5	235,7	2504,8	»	629,2	110,3	78,7	180,9	1475,7
A digéré.	4107,5	66,6	4010,9	77,0	415,4	2566,3	171,4	455,8	385,0
Coefficient. . . .	59.98	»	61.73	100.0	39.76	94.75	68.53	71.58	20.69
Cheval n° 3.									
A reçu.	6818,0	302,3	6545,7	77,0	1044,6	2676,6	250,1	636,7	1860,7
A rendu.	2772,2	227,3	2544,9	»	656,4	152,5	79,0	222,9	1434,1
A digéré.	4075,8	75,0	4000,8	77,0	388,2	2524,1	171,1	413,8	426,6
Coefficient. . . .	59.51	»	61.12	100.0	37.16	94,30	68.41	64.99	22.92

MOIS de février 1887.	MATIÈRE sèche.	CENDRES.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1.									
Avoine	4729,0	165,5	4563,5	68,1	354,7	2512,0	200,0	562,8	865,9
Paille	2098,0	132,2	1965,8	16,6	685,6	94,4	36,5	80,8	1051,9
A reçu.	6827,0	297,7	6529,3	84,7	1040,3	2606,4	236,5	643,6	1917,8
A rendu	2711,6	235,9	2475,7	»	744,1	47,4	78,4	187,1	1418,7
A digéré.	4115,4	61,8	4053,6	84,7	296,2	2559,0	158,1	456,5	499,1
Coefficient . . .	60.28	»	62.08	100.0	28.47	98.18	66.84	70.92	26.02
Cheval n° 3.									
A reçu.	6827,0	297,7	6529,3	84,7	1040,3	2606,4	236,5	643,6	1917,8
A rendu.	2849,4	233,7	2615,7	»	829,7	64,1	79,8	227,7	1414,4
A digéré.	3977,6	64,0	3913,6	84,7	210,6	2542,3	156,7	415,9	503,4
Coefficient. . . .	58.26	»	59.93	100.0	20.24	95.51	66.24	64.62	26.24

MOIS de mars 1887.	MATIÈRE sèche.	CENDRES.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1.									
Avoine	4656,0	176,9	4479,1	32,6	400,4	1833,5	188,1	549,4	1475,1
Paille.	2096,0	132,0	1961,0	16,6	692,1	78,6	30,4	63,9	1082,4
A reçu.	6752,0	308,9	6443,1	49,2	1092,5	1912,1	218,5	613,3	2557,5
A rendu.	2611,7	295,1	2316,6	»	794,0	97,9	63,5	182,5	1178,7
A digéré.	4140,3	13,8	4126,5	49,2	298,5	1814,2	155,0	430,8	1378,8
Coefficient. . . .	61.31	»	64.01	100.0	27.32	94.88	70.93	70.24	53.91
Cheval n° 3.									
Avoine	5502,0	209,1	5292,9	38,5	473,2	2166,7	222,3	649,2	1743,0
Paille.	2096,0	132,0	1961,0	16,6	692,1	78,6	30,4	63,9	1082,4
A reçu	7598,0	341,1	7256,9	55,1	1165,3	2245,3	252,7	713,1	2825,4
A rendu.	3348,2	338,2	3010,0	»	890,6	100,4	84,0	280,9	1654,1
A digéré.	4249,8	2,9	4246,9	55,1	274,7	2144,9	168,7	432,2	1171,3
Coefficient. . . .	55.93	»	58.52	100.0	23.57	95.53	66.75	60.60	41.45

MOIS d'avril 1887.	MATIÈRE sèche.	CENDRES.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1.									
Avoine	5509,0	187,3	5321,7	44,1	449,0	2719,8	217,6	644,6	1246,6
Paille.	2172,0	165,1	2006,9	10,6	664,1	86,9	33,7	67,4	1141,2
A reçu.	7681,0	352,4	7328,6	54,7	1113,1	2806,7	251,3	712,0	2390,8
A rendu.	3142,8	330,0	2812,8	»	807,1	55,0	85,8	223,1	1641,8
A digéré.	4538,2	22,4	4515,8	54,7	306,0	2751,7	165,5	488,9	749,0
Coefficient. . . .	59.08	»	61.61	100.0	27.49	98.04	65.85	68.66	31.32
Cheval n° 3.									
Avoine	4662,0	158,5	4503,5	37,3	380,0	2301,6	184,1	545,5	1055,0
Paille.	2172,0	165,1	2006,9	10,6	664,1	86,9	33,7	67,4	1114,2
A reçu.	6834,0	323,6	6510,4	47,9	1044,1	2388,5	217,8	612,9	2209,2
A rendu.	3087,1	314,9	2772,2	»	770,5	169,8	82,7	255,9	1493,3
A digéré	3746,9	8,7	3738,2	47,9	273,6	2218,7	135,1	357,0	715,9
Coefficient. . . .	54.82	»	57.41	100.0	26.20	92.89	62.02	58.24	32.40

MOIS de mai 1887.	MATIÈRE sèche.	CENDRES.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1.									
Avoine	5969,0	226,8	5742,2	44,2	501,4	3469,2	268,6	710,3	745,5
Paille.	2211,0	165,8	2045,2	10,8	719,1	82,9	33,6	75,2	1123,6
A reçu.	8180,0	392,6	7787,4	55,0	1223,5	3552,1	302,2	785,5	1869,1
A rendu.	3458,1	318,1	3140,0	»	939,2	77,8	87,5	255,6	1779,9
A digéré.	4721,9	74,5	4617,4	55,0	281,3	3174,3	213,7	529,9	89,2
Coefficient. . . .	57.72	»	59,67	100.0	23.23	97.80	70.71	67.46	4.77
Cheval n° 3.									
A reçu.	8180,0	392,6	7787,4	55,0	1223,5	3552,1	302,2	785,5	1869,1
A rendu.	3560,6	306,2	3251,4	»	914,4	89,0	84,7	305,9	1860,4
A digéré.	4619,4	86,4	4533,0	55,0	309,1	3463,1	217,5	479,6	8,7
Coefficient. . . .	56.47	»	58.20	100.0	25.26	97.49	71.97	61.05	0.40

MOIS de juin 1887.	MATIÈRE sèche.	CENDRES.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1.									
Avoine	5899,0	218,3	5680,7	41,3	471,9	2802,0	243,6	690,2	1431,7
Paille.	2254,0	139,7	2114,3	8,6	743,8	73,3	49,1	76,6	1162,9
A reçu.	8153,0	358,0	7795,0	19,9	1215,7	2875,3	292,7	766,8	2591,6
A rendu.	3527,6	299,8	3227,8	»	861,3	132,3	74,1	246,6	1910,5
A digéré.	4625,4	58,2	4567,2	49,9	351,4	2743,0	218,6	520.2	684,1
Coefficient. . . .	56.73	»	58.59	100.0	28.90	95.39	74.68	67.84	26.36
Cheval n° 3.									
A reçu	8153,0	358,0	7795,0	49,9	1215,7	2875,3	292,7	766,8	2594,6
A rendu.	3741,4	314,3	3427,1	»	901,7	65,5	89.0	313,9	2057,0
A digéré.	4411,6	43,7	4367,9	49,9	314,0	2809,8	203,7	452,9	537,6
Coefficient. . . .	54.11	»	55.03	100.0	25.83	97.72	69,59	59.06	20.72

MOIS de juillet 1887.	MATIÈRE sèche.	CENDRES.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1.									
Avoine	6129,0	208,4	5920,6	60,7	594,5	3332,3	266,6	711,0	955,5
Paille.	2228,0	140,4	2087,6	8,5	723,2	72,4	37,2	82,4	1163,9
A reçu.	8357,0	348,8	8008,2	69,2	1317,7	3404,7	303,8	793,4	2119,4
A rendu.	3825,6	363,4	3462,2	»	941,9	133,9	89,1	313,3	1984,0
A digéré.	4531,4	—14,6	4546,0	69,2	475,8	3270,8	214,7	480,1	135,4
Coefficient. . . .	54.22	»	56.76	100.0	36.10	96.06	70 67	60.51	6.38
Cheval n° 3.									
Avoine	6129,0	208,4	5920,6	60,7	594,5	3332,3	266,6	711,0	955,5
Paille	2302,0	145,1	2156,9	8,7	747,2	74,8	38,4	85,2	1202,6
A reçu.	8431,0	353,5	8077,5	69,4	1341,7	3407,1	305,0	796,2	2158,1
A rendu.	3845,3	353,8	3491,5	»	926,7	57,7	89,6	326,5	2091,0
A digéré.	4585,7	— 0,3	4586,0	69,4	415,0	3349,4	215,4	469,7	67,1
Coefficient. . . .	54.39	»	56.77	100.0	30.93	98.30	70.62	58.99	3.11

Variations du poids des chevaux.

Les chevaux, au début de cette 2e série d'essais, étaient en très mauvais état, épuisés pour ainsi dire par les expériences antérieures d'alimentation avec de l'avoine seule. En effet, le 1er juillet 1886 le cheval n° 1 pesait 348 kilogr. et le cheval n° 3, 330 kilogr. A son entrée au laboratoire, le 6 mars 1886, le cheval n° 1 pesait 432kg,5 et le cheval n° 3 pesait 448kg,5 le 2 novembre 1885. Ils avaient donc perdu chacun environ 100 kilogr. de poids vif. On a vu qu'à partir du 1er juillet 1886, on a introduit de la paille d'avoine dans la ration et qu'à dater du 16 août 1886 la ration se composait de :

Avoine.	5kg,500
Paille d'avoine.	2 ,500

Sous l'influence de cette ration, le cheval n° 1 atteint son poids initial de 432kg,5 le 9 octobre 1886, c'est-à-dire 101 jours après l'introduction de la paille dans la ration. Et pendant ces 101 jours

durant lesquels il a reconstitué 86^{kg},9 de poids vif, il a mangé en totalité :

Avoine.	522^{kg},34
Paille d'avoine.	208 ,75

L'accroissement moyen journalier du poids vif a été de :

$$\frac{86,9}{101} = 0^{kg},850$$

correspondant à une nourriture moyenne journalière composée de :

Avoine	$\frac{522,34}{101} = 5^{kg},171$
Paille d'avoine	$\frac{208,75}{101} = 2\ \ ,066$

Le cheval n° 3 n'a atteint son poids initial que le 13 décembre 1886.

Ce jour-là il pesait 449 kilogr. Il lui a donc fallu 168 jours pour regagner les 126 kilogr. de poids vif qu'il avait perdus et durant ce temps il a mangé en totalité :

Avoine	881^{kg},13
Paille d'avoine	361 ,70

L'accroissement moyen journalier du poids vif a été de :

$$\frac{126,1}{168} = 0^{kg},750$$

correspondant à une nourriture moyenne journalière de :

Avoine	$\frac{881,13}{168} = 5^{kg},245$
Paille d'avoine	$\frac{361,70}{168} = 2\ \ ,150$

Mais ces 0^{kg},850 pour le cheval n° 1 et 0^{kg},750 pour le cheval n° 3 ne représentent pas exactement la chair formée en moyenne chaque jour, car il y a eu simultanément une accumulation plus grande de nourriture dans les intestins qui a évidemment augmenté le poids vif. On n'a actuellement aucune donnée permettant d'apprécier, même approximativement, l'influence de cette accumulation de nourriture et de boisson.

Par l'examen des tableaux qui précèdent, on voit que les chevaux ont augmenté de poids pendant le repos avec une ration composée de :

Avoine.	5^{kg},500
Paille d'avoine.	2 ,500

ainsi que pendant le travail avec la voiture lorsque la ration était de :

Avoine.	7^{kg},000
Paille d'avoine.	2 ,500

Dans ce cas, le travail moyen journalier était de :

Pour le cheval n° 1	517 084 kilogrm.
Pour le cheval n° 3	584 404 —

Statique de l'azote.

Pour l'étude de la statique de l'azote, il est nécessaire de tenir compte des déjections tant solides que liquides et cutanées. Les tableaux précédents ont donné ce qui concerne les déjections solides. Nous allons donner ici ce qui regarde les déjections liquides et cutanées.

Voici d'abord la composition moyenne journalière des urines rendues :

	CHEVAL N° 1.		CHEVAL N° 3.	
	Urine recueillie.	Eau de lavage.	Urine recueillie.	Eau de lavage.
Mois de juillet 1886.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Poids moyen journalier	6494,5	1377,7	8512,3	1432,6
Densité	1022,1	1006,6	1017,3	1006,4
Volume correspondant. . . . . cc.	6351,1	1368,6	8397,0	1423,4
Azote contenu dans 1 centimètre cube . mgr.	7,542	0,894	5,062	0,780
Azote total	47,923	1,223	42,506	1,110
d'où				
Azote total rendu dans les urines.	49,146		43,616	
Mois d'août 1886.				
Poids moyen journalier	7363,0	1404,0	9516,0	1445,0
Densité.	1022,7	1008,0	1018,7	1008,0
Volume correspondant. . . . . cc.	7199,5	1393,0	9341,3	1433,5
Azote contenu dans 1 centimètre cube . . mgr.	6,946	0,896	5,058	0,792
Azote total	50,007	1,248	47,248	1,135
d'où				
Azote total rendu dans les urines.	51,255		48,383	
Mois de septembre 1886.				
Poids moyen journalier	9827,0	1445,0	11428,6	1431,0
Densité	1016,0	1006,4	1014,2	1005,2
Volume correspondant . . . . cc.	9672,2	1435,8	11268,5	1423,6
Azote contenu dans 1 centimètre cube . . mgr.	5,181	0,992	3,840	0,624
Azote total	50,111	1,404	43,271	0,888
d'où				
Azote total rendu dans les urines.	51,515		44,159	

	CHEVAL N° 1.		CHEVAL N° 3.	
	Urine recueillie.	Eau de lavage.	Urine recueillie.	Eau de lavage.
Mois d'octobre 1886.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Poids moyen journalier	8619,0	1432,0	10307,0	1385,0
Densité	1019,6	1007,9	1017,2	1006,0
Volume correspondant . . . . cc.	8153,3	1420,7	10132,7	1376,7
Azote contenu dans 1 centimètre cube . mgr.	5,914	1,160	4,297	0,656
Azote total	49,993	1,648	43,540	0,903
d'où				
Azote total rendu dans les urines	51,611		44,443	
Mois de novembre 1886.				
Poids moyen journalier	8438,0	1511,0	8666,0	1403,0
Densité	1020,1	1008,3	1020,2	1007,2
Volume correspondant . . . . cc.	8271,7	1498,5	8194,4	1392,9
Azote contenu dans 1 centimètre cube . mgr.	5,957	1,280	5,273	0,7766
Azote total	49,274	1,918	44,790	1,082
d'où				
Azote total rendu dans les urines	51,192		45,872	
Mois de décembre 1886.				
Poids moyen journalier	8186,0	1658,0	5401,0	1405,0
Densité	1020,5	1009,0	1032,0	1008,0
Volume correspondant . . . . cc.	8021,5	1643,2	5236,4	1393,8
Azote contenu dans 1 centimètre cube . mgr.	6,382	2,015	9,645	1,1164
Azote total	51,193	3,411	50,505	1,556
d'où				
Azote total rendu dans les urines	54,604		52,061	
Mois de janvier 1887.				
Poids moyen journalier	5021,0	1551,0	4868,0	1303,0
Densité	1030,5	1012,9	1033,5	1007,0
Volume correspondant cc	4875,3	1531,2	4710,2	1293,9
Azote contenu dans 1 centimètre cube . mgr.	12,418	3,261	11,660	1,410
Azote total	60,687	4,999	54,921	1,824
d'où				
Azote total rendu dans les urines	65,686		56,745	
Mois de février 1887.				
Poids moyen journalier	5028,0	1416,0	4890,0	1390,0
Densité	1027,2	1008,2	1032,8	1008,4
Volume correspondant . . . . cc.	4894,8	1404,4	4731,7	1378,4
Azote contenu dans 1 centimètre cube . mgr.	11,292	1,472	12,268	1,165
Azote total	55,272	2,067	58,085	1,606
d'où				
Azote total rendu dans les urines	57,339		59,691	
Mois de mars 1887.				
Poids moyen journalier	3967,0	1280,0	4776,0	1293,0
Densité	1032,0	1008,2	1034,3	1007,7
Volume correspondant . . . . cc.	3843,9	1269,5	4617,3	1283,1
Azote contenu dans 1 centimètre cube . mgr.	13,276	1,712	13,372	1,312
Azote total	51,031	2,173	61,712	1,683
d'où				
Azote total rendu dans les urines	53,204		63,425	

	CHEVAL N° 1.		CHEVAL N° 3.	
	Urine recueillie.	Eau de lavage.	Urine recueillie.	Eau de lavage.
Mois d'avril 1887.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Poids moyen journalier	4354,0	1247,0	4537,0	1281,0
Densité	1032,5	1007,0	1028,6	1006,0
Volume correspondant . . . cc.	4216,9	1238,3	4410,8	1273,3
Azote contenu dans 1 centimètre cube . mgr.	15,644	1,520	10,972	1,152
Azote total	65,969	1,882	48,395	1,467
d'où				
Azote total rendu dans les urines	67,851		49,862	
Mois de mai 1887.				
Poids moyen journalier	5182,0	1455,0	5281,0	1524,0
Densité	1028,7	1006,3	1026,0	1005,4
Volume correspondant . . . cc.	5037,4	1445,5	5147,1	1515,8
Azote contenu dans 1 centimètre cube . mgr.	13,164	0,768	11,132	0,832
Azote total	66,312	1,120	57,297	1,261
d'où				
Azote total rendu dans les urines	67,432		58,558	
Mois de juin 1887.				
Poids moyen journalier	7322,0	1361,0	8125,7	1407,0
Densité	1016,4	1004,2	1016,5	1003,6
Volume correspondant . . . cc.	7203,0	1355,0	7993,0	1401,0
Azote contenu dans 1 centimètre cube . mgr.	7,608	0,675	7,304	0,527
Azote total	54,800	0,914	58,381	0,738
d'où				
Azote total rendu dans les urines	55,714		59,119	

Pendant leur dessiccation, les fèces dégagent de l'ammoniaque. Celle-ci a été soigneusement recueillie et dosée. On a obtenu, pour chaque jour, les chiffres inscrits dans les tableaux suivants :

DATES.	JUILLET 1886.		AOUT 1886.		SEPTEMBRE 1886.		OCTOBRE 1886.		NOVEMBRE 1886.		DÉCEMBRE 1886.	
	Cheval n° 1.	Cheval n° 3.	Cheval n° 1.	Cheval n° 3.	Cheval n° 1.	Cheval n° 3.	Cheval n° 1.	Cheval n° 3.	Cheval n° 1.	Cheval n° 3.	Cheval n° 1.	Cheval n° 3.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
1	0,114	0,127	0,264	0,168	0,325	0,386	0,239	0,390	0,623	0,481	6,706	0,920
2	0,369	0,264	0,206	0,170	0,256	0,387	0,383	0,426	0,403	0,430	5,886	0,750
3	0,194	0,195	0,219	0,152	0,289	0,149	0,573	0,658	0,208	0,495	0,730	0,820
4	0,231	0,284	0,230	0,138	0,256	0,307	0,439	0,362	0,354	0,391	0,908	0,712
5	0,172	0,156	0,217	0,114	0,221	0,274	0,235	0,281	0,270	0,235	0,512	0,864
6	0,267	»	0,153	0,144	0,343	0,308	0,260	0,306	0,244	0,369	0,723	0,896
7	0,388	0,253	0,178	0,172	0,377	0,568	0,210	0,293	0,324	0,317	0,583	0,710
8	0,387	0,315	0,179	0,269	0,269	0,378	0,198	0,336	0,327	0,362	0,883	0,674
9	0,242	0,183	0,260	0,270	0,143	0,181	0,260	0,359	0,304	0,544	0,580	»
10	0,135	0,239	0,291	0,238	0,184	0,303	0,249	0,304	0,423	0,417	0,517	0,820
11	0,121	0,186	0,152	0,143	0,204	0,273	0,165	0,416	0,300	0,346	0,733	0,571
12	0,407	0,225	0,181	0,189	0,290	0,282	0,465	0,287	»	»	0,518	0,651
13	0,167	0,154	0,203	0,158	0,332	0,254	0,298	0,462	0,309	0,285	0,646	0,774
14	0,239	0,193	0,206	0,129	0,341	0,321	0,366	0,591	0,379	0,358	0,651	0,580
15	0,256	0,247	0,138	0,166	0,288	0,230	0,375	0,475	0,349	0,387	0,549	0,854
16	0,180	0,981	0,215	0,222	0,214	0,301	0,598	0,552	0,449	0,421	0,789	0,701
17	0,312	0,321	0,245	0,272	0,237	0,328	0,306	0,579	0,320	0,324	0,803	0,833
18	0,206	0,148	0,260	0,273	0,229	0,380	0,368	0,652	0,455	0,370	0,680	1,461
19	0,213	0,226	0,288	0,287	0,339	0,454	0,257	0,622	0,330	0,434	0,577	0,650
20	0,170	0,250	0,317	0,295	0,271	0,443	0,298	0,791	0,451	0,419	0,861	0,655
21	0,231	0,202	0,235	0,249	0,238	0,336	0,263	0,908	0,349	0,295	0,523	0,547
22	0,215	0,261	0,387	0,369	0,265	0,299	0,414	0,812	0,830	0,318	0,664	0,641
23	0,261	0,298	0,256	0,266	0,259	0,487	0,271	0,762	0,490	0,422	0,721	0,620
24	0,258	0,238	0,397	0,354	0,301	0,355	0,278	0,533	0,458	0,590	0,743	0,415
25	0,316	0,245	0,259	0,276	0,374	0,449	0,248	0,649	0,591	0,605	0,521	0,495
26	0,301	0,332	0,156	0,119	0,394	0,361	0,264	0,609	0,707	»	0,507	0,585
27	0,503	1,558	0,363	0,127	0,269	0,312	0,251	0,280	0,521	0,816	·0,425	0,530
28	0,294	0,286	0,319	0,356	0,238	0,244	0,605	0,308	»	0,603	0,671	1,205
29	0,202	0,261	0,669	0,633	0,282	0,377	0,266	0,234	0,154	0,366	0,611	1,704
30	0,179	0,126	0,399	0,471	0,254	0,425	0,387	0,318	0,295	0,240	0,660	0,690
31	0,175	0,163	0,222	0,231	»	»	0,330	0,324	»	»	0,648	0,654
Moyennes.	0,239	0,297	0,260	0,247	0,277	0,338	0,326	0,479	0,400	0,417	1,017	0,766

DATES.	JANVIER 1887.		FÉVRIER 1887.		MARS 1887.		AVRIL 1887.		MAI 1887.		JUIN 1887.	
	Cheval nº 1.	Cheval nº 3.	Cheval nº 1.	Cheval nº 3.	Cheval nº 1.	Cheval nº 3.	Cheval nº 1	Cheval nº 3.	Cheval nº 1.	Cheval nº 3.	Cheval nº 1.	Cheval nº 3.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
1	0,717	0,684	0,473	0,807	1,364	1,060	0,867	0,921	15,390	0,579	0,905	1,192
2	1,495	0,965	0,702	0,691	1,027	1,237	2,012	0,978	3,710	0,751	0,579	1,187
3	1,600	1,097	0,610	0,408	0,772	0,767	1,523	0,885	3,300	0,236	0,398	0,754
4	0,682	0,629	1,140	0,474	0,808	0,962	0,513	1,377	0,928	1,262	0,360	1,080
5	0,622	0,689	0,718	0,351	1,012	1,116	0,503	0,568	5,151	1,167	0,508	0,898
6	0,529	0,552	0,301	0,338	2,953	0,859	2,150	0,658	1,136	0,901	0,432	0,931
7	0,563	0,780	0,268	0,553	0,832	0,947	1,101	0,578	1,443	1,375	0,580	1,092
8	0,576	0,407	1,003	0,165	5,277	1,124	0,863	0,837	1,328	0,720	0,389	1,732
9	0,654	0,921	0,678	0,739	0,765	0,787	0,874	0,749	0,705	0,970	0,261	1,208
10	0,602	0,634	0,567	0,711	0,857	0,993	1,178	0,644	1,315	0,718	0,310	0,834
11	0,593	0,779	0,799	0,664	0,920	0,741	1,066	0,504	1,127	0,702	0,103	0,947
12	0,590	0,940	0,458	0,510	0,821	0,878	1,178	0,729	2,391	0,613	0,579	0.864
13	0,717	0,722	0,510	0,570	1,198	0,761	7,429	0,538	1,300	0,685	0,379	0,705
14	0,426	0,595	0,882	0,656	0,793	0,889	0,768	0,497	5,320	1,025	0,574	0,919
15	0,599	0,483	0,593	0,515	0,565	1,170	0,896	0,989	1,416	0,705	0,338	0,977
16	0,447	0,790	0,409	0,480	0,564	0,909	0,737	0,571	0,991	1,148	0,433	0,783
17	0,806	0,962	0,378	0,488	1,165	0,614	0,688	0,510	1,445	1,173	»	1,300
18	0,883	0,812	0,724	0,417	1,672	0,714	0,840	0,355	0,716	1,396	0,300	0,989
19	1,113	0,768	1,100	0,365	1,055	0,646	0,717	0,381	0,695	0,866	0,122	0,517
20	0,791	1,430	1,951	0,337	1,773	1,158	0,745	0,413	0,768	0,891	0,255	0,636
21	1,139	0,838	0,841	0,386	1,018	0,875	0,617	0,106	0,816	0,682	»	»
22	1,018	0,438	0,935	0,658	0,911	0,918	0,582	0,427	0,686	0,489	0,350	0,387
23	1,186	0,437	3,362	0,910	0,668	0,717	0,588	0,212	0,717	0,993	0,431	0,734
24	0,915	0,406	0,818	0,882	0,531	0,495	1,000	0,361	0,581	0,635	0,307	0,773
25	0,699	0,619	0,631	1,328	0,843	0,671	0,826	0,325	0,793	0,736	0,226	1,053
26	0,729	0,196	0,753	1,436	0,509	0,789	0,696	0,247	0,659	0,991	0,216	0,903
27	2,194	0,524	0,679	1,018	0,678	0,729	0,500	0,606	0,756	1,474	0,298	1,098
28	0,899	0,578	0,908	0,844	2,021	0,710	0,877	0,687	0,912	1,747	0,401	1,130
29	0,739	0,417	»	»	1,063	0,861	0,525	0,491	0,999	0,955	0,798	1,198
30	0,708	0,479	»	»	0,877	0,762	1,860	0,586	0,931	1,255	0,480	»
31	0,658	0,623	»	»	3,252	0,288	»	»	0,940	1,466	»	»
Moyennes. .	0,835	0,691	0,748	0,646	1,244	0,814	1,159	0,602	1,478	0,945	0,425	0,959

Enfin on a tenu compte de la quantité des poils et poussières que le pansage journalier enlève chaque jour. Voici les chiffres obtenus :

MOIS DE JUILLET 1886.

Poils et poussières recueillis du 1er au 31 juillet sur le

Cheval n° 1.	276 grammes contenant	25gr,798 d'azote.
Cheval n° 3.	294 —	29 ,312 —

La production moyenne journalière a donc été pour le

Cheval n° 1 . . $\frac{276}{31} = 8^{gr},90$ de poils et poussières contenant $0^{gr},832$ d'azote.

Cheval n° 3 . . $\frac{294}{31} = 9\ ,48$ — — $0\ ,945$ —

MOIS D'AOUT 1886.

Poils et poussières recueillis du 1er au 31 août sur le

Cheval n° 1.	211gr,20 contenant	14gr,56 d'azote
Cheval n° 3.	164 ,90 —	13 ,72 —

Les poils n'ont pas été recueillis en totalité en raison de leur chute continue.

La production moyenne journalière a donc été pour le

Cheval n° 1. . . . . $\frac{211,20}{31} = 6^{gr},81$ contenant $0^{gr},47$ d'azote.

Cheval n° 3. . . . . $\frac{164,90}{31} = 5\ ,31$ — $0\ ,44$ —

MOIS DE SEPTEMBRE 1886.

Poils et poussières recueillis du 1er au 30 septembre sur le

Cheval n° 1	332gr,20 contenant	32gr,459 d'azote.
Cheval n° 3	502 ,00 —	55 ,555 —

La production moyenne journalière a donc été pour le

Cheval n° 1. . . . . $\frac{332,20}{30} = 11^{gr},07$ contenant $1^{gr},082$ d'azote.

Cheval n° 3. . . . . $\frac{502,00}{30} = 16\ ,73$ — $1\ ,851$ —

MOIS D'OCTOBRE 1886.

Poils et poussières recueillis du 1er au 31 octobre sur le

Cheval n° 1	738 grammes contenant	$79^{gr},947$	d'azote.
Cheval n° 3	379 —	38 ,157	—

La production moyenne journalière a donc été pour le

Cheval n° 1 . . . . $\frac{738}{31} = 23^{gr},80$ contenant $2^{gr},58$ d'azote.

Cheval n° 3 . . . . $\frac{379}{31} = 12\ ,22$ — $1\ ,23$ —

MOIS DE NOVEMBRE 1886.

Poils et poussières recueillis du 1er au 30 novembre sur le

Cheval n° 1	$214^{gr},00$ contenant	$19^{gr},008$	d'azote
Cheval n° 3	150 ,30 —	15 ,972	—

La production moyenne journalière a donc été pour le

Cheval n° 1. . . . . $\frac{214,00}{30} = 7^{gr},13$ contenant $0^{gr},633$ d'azote.

Cheval n° 3. . . . . $\frac{150,30}{30} = 5\ ,01$ — $0\ ,532$ —

La tonte des chevaux a eu lieu le 19 et le 20 novembre. Les poils recueillis ont été pour le

Cheval n° 1.	1 270 grammes contenant	$163^{gr},26$	d'azote.
Cheval n° 3.	1 550 —	197 ,47	—

Le cheval n° 3 les a produits en 365 jours, soit par jour une production moyenne de

$$\frac{1\,550}{365} = 4^{gr},24 \text{ contenant } 0^{gr},538 \text{ d'azote.}$$

On ne connaît pas le temps que le cheval n° 1 a mis pour produire ses 1 270 grammes de poils, l'époque de sa tonte antérieure étant inconnue.

MOIS DE DÉCEMBRE 1886.

Poils et poussières recueillis du 1er au 31 décembre 1886 sur le

Cheval n° 1	123 grammes contenant	$10^{gr},008$	d'azote.
Cheval n° 3	102 —	10 ,491	—

La production moyenne journalière a donc été pour le

Cheval n° 1 . . $\frac{123}{31} = 3^{gr},96$ de poils et poussières contenant $0^{gr},322$ d'azote.

Cheval n° 3 . . $\frac{102}{31} = 3\ ,29$ — — 0 ,338 —

MOIS DE JANVIER 1887.

Poils et poussières recueillis du 1er au 31 janvier sur le

Cheval n° 1 . . . . $123^{gr},0$ contenant $8^{gr},421$ d'azote.
Cheval n° 3 . . . . 64 ,5 — 5 ,053 —

La production moyenne journalière a donc été pour le

Cheval n° 1. $\frac{123,00}{21} = 3^{gr},96$ de poils et poussières contenant $0^{gr},271$ d'azote.

Cheval n° 3. $\frac{64,50}{31} = 2\ ,08$ — — 0 ,156 —

MOIS DE FÉVRIER 1887.

Poils et poussières recueillis du 1er au 28 février 1887 sur le

Cheval n° 1 . . . . $187^{gr},50$ contenant $21^{gr},442$ d'azote.
Cheval n° 3 . . . . 137 ,50 — 14 ,398 —

La production moyenne journalière a donc été pour le

Cheval n° 1. $\frac{187,50}{28} = 6^{gr},70$ de poils et poussières contenant $0^{gr},766$ d'azote.

Cheval n° 3. $\frac{137,50}{28} = 4\ ,91$ — — 0 ,514 —

MOIS DE MARS 1887.

Poils et poussières recueillis du 1er au 31 mars sur le

Cheval n° 1 . . . . $173^{gr},00$ contenant $16^{gr},024$ d'azote.
Cheval n° 3 . . . . 141 ,50 — 10 ,526 —

La production moyenne journalière a donc été pour le

Cheval n° 1. $\frac{173,00}{31} = 5^{gr},58$ de poils et poussières contenant $0^{gr},516$ d'azote.

Cheval n° 3. $\frac{141,50}{31} = 4\ ,56$ — — 0 ,339 —

MOIS D'AVRIL 1887.

Poliset poussières recueillis du 1er au 30 avril sur le

Cheval n° 1 . . . . 682 grammes contenant 46gr,680 d'azote.
Cheval n° 3 . . . . 296 — 26 ,054 —

La production moyenne journalière a donc été pour le

Cheval n° 1 . . $\frac{682}{30}$ = 22gr,7 de poils et poussières contenant 1gr,556 d'azote.

Cheval n° 3 . . $\frac{296}{30}$ = 9 ,9 — — 0 ,868 —

MOIS DE MAI 1887.

Poils et poussières recueillis du 1er au 31 mai sur le

Cheval n° 1 . . . . . . 1 150 grammes contenant 103gr,730 d'azote.
Cheval n° 3 . . . . . . 676 — 49 ,368 —

La production moyenne journalière a donc été pour le

Cheval n° 1. . $\frac{1\,150}{31}$ = 37gr,1 de poils et poussières contenant 3gr,346 d'azote.

Cheval n° 3. . $\frac{676}{31}$ = 21 ,8 — — 1 ,590 —

MOIS DE JUIN 1887.

Poils et poussières recueillis du 1er au 30 juin sur le

Cheval n° 1 . . . . 544 grammes contenant 53gr,588 d'azote.
Cheval n° 3 . . . . 455 — 43 ,825 —

La production moyenne journalière a donc été pour le

Cheval n° 1 . . . . $\frac{544}{30}$ = 18gr,1 contenant 1gr,786 d'azote.

Cheval n° 3 . . . . $\frac{455}{30}$ = 15 ,1 — 1 ,460 —

MOIS DE JUILLET 1887.

Poils et poussières recueillis du 1er au 31 juillet sur le

Cheval n° 1 . . . . 415 grammes contenant 36gr,337 d'azote.
Cheval n° 3 . . . . 370 — 32 ,467 —

La production moyenne journalière a donc été pour le

Cheval n° 1 . . . . . . $\frac{514}{31} = 13^{gr},39$ contenant $1^{gr},172$ d'azote.

Cheval n° 3 . . . . . . $\frac{370}{31} = 11\ ,93$ — 1 ,047 —

Bien qu'on ait apporté le plus grand soin à la récolte des poussières et des poils, il est certain que les poids ci-dessus indiqués doivent être considérés comme des minima. Il est clair en effet qu'il n'était pas possible de recueillir ces éléments pendant la marche ou le travail.

Un autre élément azoté dont il faut aussi tenir compte, la corne des sabots, a été également séparé avec soin. Le tableau suivant indique la marche de la production pour nos deux chevaux soit pendant le repos, soit pendant le travail.

CHEVAL N° 1.		CHEVAL N° 3.	
Ferré le :	Corne enlevée.	Ferré le :	Corne enlevée.
	Gr.		Gr.
13 juin 1886 . . .	»	31 janvier 1886. .	»
2 novembre 1886.	550	2 mai 1886. . . .	180
3 janvier 1887 . .	360	12 août 1886 . . .	460
30 janvier 1887. .	»	17 octobre 1886. .	260
10 mars 1887. . .	80	16 janvier 1887. .	350
13 mars 1887. . .	70	6 mars 1887 . . .	»
12 avril 1887. . .	120	13 mars 1887. . .	60
8 mai 1887. . . .	120	16 avril 1887. . .	180
21 mai 1887 . . .	230	11 mai 1887 . . .	60
29 juin 1887 . . .	50	22 mai 1887 . . .	100
10 juillet 1887 . .	230	12 juin 1887 . . .	50
27 juillet 1887 . .	90	3 juillet 1887. . .	60
		13 juillet 1887 . .	210
Total du 13 juin 1886 au 27 juillet 1887 (en 410 jours). .	1,900	26 juillet 1887 . .	30
		Total du 31 janvier 1886 au 26 juillet 1887 (541 jours). .	2,000

d'où une production moyenne journalière pour le

Cheval n° 1 de . . . . $4^{gr},633$ de corne contenant $0^{gr},524$ d'azote.
Cheval n° 3 de . . . . 3 ,696 — 0 ,418 —

Avec tous ces éléments, on peut dresser le tableau suivant qui résume la balance moyenne journalière entre l'azote ingéré et l'azote

rendu. Ainsi, quels que soient les soins qu'on ait pris pour la détermination de l'azote dans ses divers modes d'élimination, on n'arrive pas encore à une balance exacte entre l'entrée et la sortie.

	AZOTE ingéré.	AZOTE de l'urine.	AZOTE des fèces.	AZOTE volatil des fèces.	AZOTE du pansage.	AZOTE des poils.	AZOTE de la corne.	AZOTE total rendu.	DIFFÉRENCE entre l'azote ingéré et l'azote rendu.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1.									
Juillet 1886 . . .	91,07	49,146	26,720	0,239	0,832	0,538	0,524	77,999	14,071
Août 1886	113,79	51,255	30,080	0,260	0,170	0,538	0,524	83,127	30,663
Septembre 1886 .	106,24	51,515	30,560	0,277	1,082	0,538	0,524	84,496	21,744
Octobre 1886. . .	107,48	51,641	31,280	0,326	2,580	0,538	0,524	84,889	22,591
Novembre 1886. .	105,95	51,192	30,640	0,400	0,633	0,538	0,524	83,917	22,033
Décembre 1886. .	102,33	51,604	31,000	1,017	0,322	0,538	0,524	88,005	14,325
Janvier 1887. . .	101,87	65,686	28,910	0,835	0,271	0,538	0,524	88,794	12,076
Février 1887 . . .	102,97	57,339	29,930	0,748	0,766	0,538	0,524	89,845	13,125
Mars 1887	98,12	53,204	29,200	1,214	0,516	0,538	0,524	85,226	12,894
Avril 1887	113,92	67,851	35,690	1,159	1,556	0,538	0,524	106,318	7,602
Mai 1887.	125,68	67,432	40,890	1,478	3,346	0,538	0,524	111,208	14,472
Juin 1887	122,68	55,714	39,450	0,425	1,786	0,538	0,524	98,437	24,243
Juillet 1887 . . .	126,94	»	50,220	»	1,172	0,538	0,524	»	»
Cheval n° 3.									
Juillet 1886 . . .	91,92	43,616	30,990	0,297	0,945	0,538	0,418	76,804	25,116
Août 1886	113,79	48,383	33,980	0,247	0,440	0,538	0,418	84,006	29,784
Septembre 1886 .	106,21	44,159	41,980	0,338	1,851	0,538	0,418	89,284	16,956
Octobre 1886 . .	107,48	44,443	40,540	0,479	1,230	0,538	0,418	87,618	19,832
Novembre 1886. .	105,95	45,872	38,510	0,417	0,532	0,538	0,418	86,287	19,663
Décembre 1886. .	102,33	52,061	39,440	0,766	0,338	0,538	0,418	93,561	8,769
Janvier 1887. . .	101,87	56,745	36,430	0,694	0,156	0,538	0,418	94,981	6,889
Février 1887. . .	102,97	59,671	36,430	0,646	0,514	0,538	0,418	95,237	7,733
Mars 1887	114,09	63,425	44,800	0,844	0,339	0,538	0,418	110,364	3,726
Avril 1887	98,06	49,862	40,910	0,602	0,868	0,538	0,418	93,288	5,832
Mai 1887.	125,68	58,558	48,940	0,945	1,590	0,538	0,418	110,989	14,691
Juin 1887	122,68	59,119	50,220	0,959	1,460	0,538	0,418	112,714	9,866
Juillet 1887 . . .	127,39	»	52,240	»	1,047	0,538	0,418	»	»

Le déficit constaté pour chaque cheval doit être attribué à ce fait que les chevaux ont reformé les muscles. On a vu précédemment que chaque cheval avait reformé plus de 100 kilogr. de poids vif. Mais le déficit de janvier à juillet 1887 ne peut s'expliquer d'une semblable façon.

Comme nous l'avons dit précédemment, depuis que les expériences dont il s'agit ont été entreprises, nous avons constaté une nouvelle source de déperdition de l'azote qui ne paraît pas avoir été signalée jusqu'ici. Cette perte d'azote s'effectue par la peau sous les formes principales d'ammoniaque, d'urée et d'albumine dans la sueur. En ce qui concerne l'albumine, nous en avons tenu un compte partiel, puisqu'elle se retrouve dans les poussières du pansage. Mais nous perdons la presque totalité de l'urée et de l'ammoniaque. L'urée, en effet, au contact de la peau et sous l'influence de la température du corps du cheval se dédouble rapidement, de sorte que la peau émet continuellement du carbonate d'ammoniaque. Quelle proportion en émet-elle par jour? pendant le repos? pendant le travail? Le problème ne paraît pas aisément soluble, surtout si l'on a affaire à un cheval quelque peu vigoureux.

Lorsque le cheval produit un travail prolongé ou énergique, il se couvre de sueur qui, au contact du harnais, donne une écume blanche. Quelle est sa composition? On n'en possède aucune analyse. Anselmino, qui a examiné la sueur du cheval, affirme qu'elle a la même composition que celle de l'homme. Or celle-ci est encore mal connue et les analyses qu'on en a données sont peu concordantes.

De plus, on n'est pas d'accord sur la constance de tel ou tel élément. Ainsi Gorup-Besanez dit : « La composition de la sueur diffère de celle du sang ; on n'y trouve pas de matières albuminoïdes, par conséquent ce liquide n'est pas un simple produit d'exsudation. » (*Chimie physiologique,* p. 776, traduction de Schlagdenhauffen, 1880.)

M. Leube n'envisage pas la présence de l'albumine comme constante et l'attribue à une hyperhémie cutanée, comparable à l'hypersécrétion rénale qui provoque l'albuminurie. (Gorup-Besanez, *Chimie physiologique,* 1880.)

Quoi qu'il en soit, voici résumées dans le tableau suivant les analyses incomplètes que l'on possède sur la sueur de l'homme.

TABLEAU.

	ANSELMINO.		FAVRE.	SCHOTTIN.	FUNKE.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr	Gr.
Eau	995,00	987,50	995,573	977,40	988,44
Matières solides	5,00	12,50	4,427	22,60	1,16
Épithéliums	0,10	0,25	»	4,20	2,49
Corps gras	»	»	0,013	»	»
Lactates	»	»	0,317	»	»
Hydrotates ou sudorates alcalins.	»	»	1,562	»	»
Matières extratives	1,45	3,62	0,005	11,30	»
Urée	»	»	0,004	»	1,55
Chlorure sodique	2,40	6,00	2,230	3,60	»
Chlorure potassique			8,024	»	»
Phosphate potassique	»	»	traces.	1,31	»
Sulfates alcalins	1,05	2,62	0,011		»
Phosphates terreux	»	»	traces.	0,39	»
Totalité des sels	»	»	»	7,10	4,36

Favre a seul signalé l'albumine qui est inscrite sous la rubrique de matières extractives = 0^{gr},005.

Ces analyses montrent combien la sueur de l'homme est variable.

En somme, sa composition est encore très mal connue. Cependant sa connaissance est indispensable pour des études précises sur l'alimentation. Aussi avons-nous analysé la sueur recueillie sur nos chevaux d'expérience. Nous nous sommes surtout appliqué à y doser les éléments azotés qui s'y trouvent sous les formes d'ammoniaque, d'urée et d'albumine.

Voici les résultats qui ont été obtenus :

Le 9 mai 1887, la sueur recueillie sur le cheval n° 1 est mousseuse et souillée de poussières.

1 litre de cette sueur contenait :

Azote total	3^{gr},71
Albumine	15 ,60

Ces 15^{gr},60 d'albumine contenant 2^{gr},449 d'azote, il restait par conséquent 3^{gr},710 — 2^{gr},449 = 1^{gr},261 d'azote sous forme d'ammoniaque et d'urée.

Le 17 mai, on a encore recueilli de la sueur sur le même cheval ; 1 litre de cette sueur contenait :

Chlorure de sodium	28^{gr},325
Azote total	2 ,655
Azote de l'urée	0 ,548
Albumine	11 ,200

Dans cette albumine on a dosé l'azote pour s'assurer de son identité. Sur 56 milligr. d'albumine on a dosé $8^{mg},6$ d'azote au lieu de $8^{mg},7$ indiqué par la théorie, soit 15.36 p. 100 d'azote au lieu de 16 p. 100.

Mais ces résultats n'indiquaient pas et ne pouvaient indiquer la production moyenne journalière de ces éléments.

Du reste, la composition de la sueur varie considérablement suivant qu'elle est prélevée au début ou à la fin de la sudation. Pour éliminer ces différences, on s'est astreint à laver le cheval et à analyser les eaux de lavage recueillies. Mais encore, par ce moyen obtient-on la totalité de l'urée et de l'albumine éliminées par la peau? De la sueur ne se perd-elle pas sur le sol, sur le harnais, etc., pendant le travail?

Quoi qu'il en soit, voyons ce que le lavage a donné :

Le dispositif des stalles d'expériences permettait la récolte totale des eaux ayant servi aux lavages. Dans ces eaux on a dosé les éléments qu'il nous importait particulièrement de connaître, à savoir : l'albumine, l'urée, l'ammoniaque, l'azote total et les chlorures alcalins. Pour le cheval n° 1 on a dosé en outre les matières sèches, minérales et organiques.

Cheval n° 1. Ce cheval sue facilement pendant le travail.

Les poids des eaux de lavage recueillis ont été :

Le 15 juin 1887,	1er lavage	$9^{kg},960$
Le 16 —	2e —	7 ,910
Le 17 —	3e —	8 ,390
Le 18 —	4e —	9 ,250

Ces eaux ont fourni les quantités suivantes de :

	AZOTE ammoniacal.	AZOTE de l'urée.	AZOTE total.
1er lavage	$0^{gr},287$	$0^{gr},286$	$2^{gr},613$
2e —	0 ,267	0 ,431	1 ,616
3e —	0 ,105	0 ,230	1 ,014
4e —	0 ,115	0 ,181	1 ,237

	ALBUMINE.	AZOTE de l'albumine.	CHLORURES alcalins.	MATIÈRE sèche.	MATIÈRES minérales.	MATIÈRES organiques.
1er lavage.	$10^{gr},308$	$1^{gr},649$	$30^{gr},026$	$56^{gr},274$	$38^{gr},844$	$17^{gr},480$
2e — .	5 ,558	0 ,889	13 ,923	26 ,202	17 ,865	8 ,337
3e — .	4 ,237	0 ,668	10 ,497	20 ,136	13 ,172	6 ,964
4e — .	5 ,596	0 ,895	11 ,026	20 ,350	12 ,487	7 ,863

Cheval n° 2. Ce cheval sue difficilement pendant le travail. Les eaux de lavage du cheval n° 2 pesaient :

Le 20 juin 1887,	1er lavage	10kg,430
Le 21 —	2e —	8 ,310
Le 22 —	3e —	9 ,440
Le 23 —	4e —	11 ,120

Ces eaux ont fourni les quantités suivantes de :

	AZOTE ammoniacal.	AZOTE de l'urée.	AZOTE total.
1er lavage	0gr,200	0gr,767	2gr,569
2e —	0 ,119	0 ,359	0 ,744
3e —	0 ,121	0 ,166	0 ,900
4e —	0 ,124	0 ,126	0 ,890

	ALBUMINE.	AZOTE de l'albumine.	CHLORURES alcalins exprimés en chlorure de sodium.
1er lavage	8gr,605	1gr,376	25gr,36
2e —	2 ,701	0 ,432	6 ,71
3e —	2 ,690	0 ,432	6 ,42
4e —	4 ,114	0 ,658	8 ,33

La quantité d'eau qui reste interposée entre les poils du cheval lavé varie peu : elle oscille, d'après diverses déterminations, entre 1 500 et 1 800 grammes.

Il résulte donc des chiffres ci-dessus que la transpiration cutanée latente, c'est-à-dire celle qui ne mouille pas le cheval, occasionne une perte journalière d'azote qu'on peut hardiment évaluer à 1 gr. par jour.

Quelle serait la perte journalière de l'azote qui résulterait d'une sudation abondante et prolongée, celle, par exemple, qui correspondrait au travail de nos chevaux de place ? En raison des dangers qu'il présente, nous n'avons pas tenté le lavage du cheval couvert de sueur.

Il est singulier de voir un corps aussi important que l'albumine s'éliminer par la peau. M. Leclerc a toujours trouvé l'albumine dans toutes les sueurs de cheval qu'il a examinées. Son élimination par la peau doit donc être considérée comme permanente aussi bien au repos qu'au travail.

La sueur en se desséchant laisse sur le corps du cheval un dépôt blanc principalement formé d'albumine et de chlorures alcalins.

Cette albumine présente alors l'aspect de pellicules blanches que l'étrille enlève facilement et que jusqu'ici on avait considérées comme étant des débris épithéliaux. Il est facile de s'assurer que ces derniers sont en faible proportion. L'albumine n'ayant été que desséchée à la température du corps du cheval est encore soluble dans l'eau : on l'extraie aisément des poussières du pansage en les lessivant avec de l'eau à 50 degrés. On s'assure de son identité en la précipitant soit par coagulation à 100 degrés, soit par l'acide acétique, et en faisant, après dessiccation, un dosage d'azote. L'albumine obtenue de cette façon dosait 15.77 p. 100 d'azote au lieu de 16 p. 100 chiffre théorique.

Les expériences tentées dans le but de mesurer la quantité de sueur sécrétée par la peau de l'homme n'ont encore donné aucun résultat sérieux.

Lavoisier et Séguin avaient admis que la transpiration cutanée est deux fois plus forte que la transpiration pulmonaire. D'après Lehmann, la transpiration cutanée paraît être, avec l'exhalation pulmonaire, dans le rapport de 7 à 12. En appliquant ces données au cheval n° 1 qui a travaillé au trot en mai 1881 (page 151 du 2e mémoire), on trouve que sur la transpiration pulmonaire et cutanée moyenne journalière de 13^{kg},366, il y aurait eu production de 4^{kg},924 de sueur qui, à raison de 15^{gr},4 d'albumine par litre, auraient éliminé 15^{gr},4 $\times$ 4^{kg},924 $=$ 73^{gr},86 d'albumine contenant environ 12^{gr},06 d'azote.

Or, pour ce mois d'expérience et pour ce cheval, on a obtenu un déficit moyen journalier de 9^{gr},49 d'azote (voir page 167 du 2e mémoire).

Ne serait-ce pas à une cause de cette nature que seraient dus les déficits d'azote qui ont été constatés et inexpliqués dans les expériences de 1880-1882 et dans celles qui ont suivi ?

On voit donc que la sueur et la transpiration cutanée latente occasionnent une perte d'azote qui, pendant le travail, est supérieur à 1 gramme par jour. C'est certainement de là que vient la différence constatée entre l'entrée et la sortie de l'azote dans les expériences

dont il s'agit. Depuis ces recherches, de nouvelles déterminations ont été faites ; elles ont montré que l'azote éliminé dans la sueur variait de 2 à 4 grammes et plus par jour.

D'après cela, on peut donc considérer comme satisfaisante la balance pour l'azote qui a été donnée dans un tableau précédent.

Du travail produit.

Dans le précédent rapport (3e série d'essais avec l'avoine seule), nous avons signalé les inexactitudes que donne l'emploi du manège et montré par quelques chiffres que la traction n'est pas constante, qu'elle varie en même temps que la vitesse.

En ce qui concerne les essais au pas et au trot de janvier à juin 1887, des déterminations dynamométriques ont montré que la traction, fonction de la vitesse, pouvait être représentée par la formule suivante :

$$y = 0,8659\ x^2 - 7,4648\ x + 46.1619$$

d'où l'on déduit que, pour les vitesses successives de

$x = 0$	la traction est	$45^{kg},1619$ (démarrage)
$x = 0^m,25$	—	44 ,3498
$x = 0\ ,50$	—	42 ,646
$x = 0\ ,75$	—	41 ,050
$x = 1\ ,00$	—	39 ,563
$x = 1\ ,25$	—	38 ,183
$x = 1\ ,50$	—	36 ,913
$x = 1\ ,75$	—	35 ,750
$x = 2\ ,00$	—	34 ,696
$x = 2\ ,25$	—	33 ,749
$x = 2\ ,50$	—	32 ,912
$x = 2\ ,75$	—	32 ,182
$x = 3\ ,00$	—	31 ,560
$x = 3\ ,25$	—	31 ,047
$x = 3\ ,50$	—	30 ,642

Or, en janvier, la vitesse moyenne journalière dans le travail au manège a été

Le matin de.	$1^m,15$
Le soir de	1 ,08

La traction correspondant à la vitesse du matin est donc de $38^k,723$, et le travail correspondant de

$$38^{kg},723 \times 10\,137^m,92 = 392\,570 \text{ kilogrm.}$$

La traction qui correspond à la vitesse du soir est donc de $39^{kg},267$ et le travail correspondant est

$$39^{kg},267 \times 10\,137^m,92 = 398\,164 \text{ kilogrm.}$$

Le travail journalier fait par le cheval n° 1 en janvier 1887 a donc été d'environ

$$392\,570 + 398\,164 = 790\,734 \text{ kilogrm. au pas.}$$

Mais il ne faut considérer ce nombre que comme approximatif.

En février la vitesse moyenne a été :

Le matin.	$1^m,17$
Le soir.	1 ,20

La traction correspondant à ces vitesses est donc pour

Le matin.	$38^{kg},613$
Le soir	38 ,451

et le travail moyen journalier a été d'environ

Le matin. .	$38,613 \times 10\,137,92 = 391\,455$	kilogrm.
Le soir . .	$38,451 \times 10\,137,92 = 389\,813$	—
d'où travail moyen journalier. . .	781 268	kilogrm. fait par le cheval n° 3.

En mars, dans le travail au trot, la vitesse moyenne a été :

Le matin.	$2^m,11$
Le soir.	2 ,08

La traction correspondant à ces vitesses est donc

Pour le matin.	$34^{kg},265$
Pour le soir	34 ,465

et le travail moyen journalier correspondant a été :

Pour le matin.	$34,265 \times 10\,137,92 = 347\,375$	kilogrm.
Pour le soir	$34,465 \times 10\,137,92 = 349\,402$	—
d'où travail total journalier.	696 778	—

En avril, la vitesse moyenne a été :

Le matin.	2^m,11
Le soir.	2 ,15

La traction correspondant à ces vitesses a donc été de

Pour le matin.	34^{kg},265
Pour le soir	34 ,115

le travail moyen journalier a été

Le matin	34,265 × 10 137,92 = 347 376	kilogrm.
Le soir	34,115 × 10 137,92 = 345 855	—
d'ou travail total journalier.	693 231	—

En mai, la vitesse moyenne pour le cheval n° 1 a été :

Le matin de	2^m,22
Le soir de	2 ,19

La traction correspondant à ces vitesses est :

Le matin.	33^{kg},857
Le soir	33 ,967

et le travail moyen journalier a été pour le cheval n° 1 :

Le matin	33,857 × 10 137,92 = 343 239	kilogrm.
Le soir	33,966 × 10 137,92 = 344 344	—
d'où travail total journalier.	687 583	—

Dans ce même mois de mai, la vitesse du cheval n° 3 a été :

Le matin.	2^m,17
Le soir.	2 ,27

et la traction correspondant à ces vitesses est :

Le matin.	34^{kg},040
Le soir	33 ,578

et le travail moyen journalier a été :

Le matin	34,040 × 10 137,92 = 345 094	kilogrm.
Le soir	33,578 × 10 137,92 = 340 411	—
d'où travail total journalier.	685 505	—

Durant le mois de juin, le cheval n° 1 a travaillé d'une façon très irrégulière et il convient de ne considérer que les résultats fournis par le cheval n° 3.

Le travail a été relevé au moyen d'un dynamomètre enregistreur dont le papier se déroulait proportionnellement à la vitesse du cheval, par conséquent aussi au chemin parcouru. Chaque tour de manège, de même que la durée du temps employé pour le faire, étaient enregistrés électriquement sur le même papier. Voici à titre de spécimen les résultats obtenus pour 41 tours successifs pris au milieu du travail du 6 juin 1887 : 1 tour = 28m,96.

NUMÉROS d'ordre.	DURÉE d'un tour en secondes.	TRACTION moyenne correspondante.	VITESSE.	TRAVAIL pour 1 tour de manège.
		Kilogr.	Mètres.	Kilogrm.
1	12" 98/100e	26,00	»	»
2	12 38	24,65	»	»
3	13 14	28,70	»	»
4	13 80	25,50	»	»
5	13 58	29,35	»	»
6	12 66	30,80	»	»
7	12 70	33,75	2,28	977,4
8	10 53	29,70	»	»
9	11 26	31,10	2,57	900,6
10	12 34	31,10	»	»
11	13 72	30,10	»	»
12	14 10	30,65	»	»
13	14 46	29,05	»	»
14	11 34	19,35	»	»
15	10 20	21,45	»	»
16	9 72	23,70	»	»
17	9 64	25,90	»	»
18	10 18	20,80	»	»
19	10 22	26,20	»	»
20	10 52	28,00	»	»
21	9 52	25,85	»	»
22	9 90	25,20	»	»
23	9 54	25,95	»	»
24	9 82	29,35	»	»
25	9 50	26,85	»	»
26	9 70	27,30	»	»
27	9 20	27,10	3,14	784,8
28	9 38	24,75	»	»
29	9 42	25,55	»	»

NUMÉROS d'ordre.	DURÉE d'un tour en secondes.	TRACTION moyenne correspondante.	VITESSE.	TRAVAIL pour 1 tour de manège.
—	—	—	—	—
		Kilogr.	Mètres.	Kilogrm.
30	10 20	25,85	»	»
31	12 60	19,15	»	»
32	11 00	15,60	2,63	451,8
33	10 82	21,45	»	»
34	11 30	22,75	»	»
35	10 28	21,20	»	»
36	9 76	21,00	»	»
37	10 74	21,65	»	»
38	19 40	29,10	»	»
39	18 10	30,50	»	»
40	18 50	34,05	1,56	986,08
41	19 46	30,10	1,48	871,69

Ces chiffres montrent amplement l'inexactitude des données fournies par le manège dont les conditions du frottement sont sans cesse variables. Car comment expliquer les tractions variables de $15^{kg},60$ (n° 32), correspondant à une vitesse de $2^{m},63$ et à un travail par tour de $451^{kg},8$ et de $34^{kg},05$ (n° 40) correspondant à une vitesse de $1^{m},56$ et à un travail par tour de $986^{kg},08$. Le travail journalier du cheval, pour 700 tours est donc compris entre :

A $15^{kg},60$ de traction. . . . . $451,8 \times 700 = 316\,260$ kilogrm.
A $34\ \ ,05$ — . . . . . $986,00 \times 700 = 690\,256$ —

Cette énorme différence doit nous rendre très circonspect vis-à-vis des chiffres cités plus haut comme représentant le travail kilogrammétrique au manège soit au pas, soit au trot.

Ces inexactitudes dans l'évaluation du travail nous ont fait rechercher un appareil dynamométrique capable de mesurer exactement le travail produit. A cet effet, nous avons d'abord employé un enregistreur. Mais comme il fallait chaque jour planimétrer des courbes correspondant à un parcours de 20 kilomètres environ, la somme de travail à faire nous a fait chercher un autre procédé. Aujourd'hui nous mesurons exactement le travail du manège avec un dynamomètre totalisateur. Ici il n'y a plus de courbe à relever; il suffit de tarer l'appareil une seule fois (en travaillant avec une traction constante et connue) et deux lectures, l'une avant, l'autre après le travail, don-

nent par différence le travail kilogrammétrique produit. L'appareil consiste en un disque de 0^{m},10 de diamètre tournant à l'extrémité d'un axe vertical qui lui sert de support avec une vitesse proportionnelle à la vitesse de rotation du manège, du cheval par conséquent. Sur ce disque et perpendiculairement repose une roulette mobile suivant un diamètre (le diamètre qui se trouve dans l'axe de la traction). Cette roulette qui, d'une part, est reliée au dynamomètre dont elle suit tous les mouvements, et d'autre part, au palonnier à l'aide d'un système convenable, se déplace donc sur le disque (le long d'un axe horizontal) d'une quantité proportionnelle à la traction. Cela posé, il est évident que la traction agissant et le disque tournant, la roulette sera entraînée par ce dernier à décrire sur le disque une circonférence dont le rayon sera proportionnel à la traction. Le nombre de tours de la roulette sera donc proportionnel à la traction et comme, d'autre part, le disque tourne proportionnellement à la vitesse du cheval, la roulette tournera aussi proportionnellement à la vitesse du cheval, par suite, au chemin parcouru. Le nombre des tours de la roulette est donc proportionnel au produit du chemin parcouru par la traction, c'est-à-dire au travail kilogrammétrique. Il suffit donc de connaître d'une part le nombre de tours fait par la roulette pendant le travail et d'autre part le nombre de kilogrammètres correspondant à un tour de roulette.

L'axe qui porte la roulette est muni d'une vis sans fin à l'une de ses extrémités et cette vis engrène avec la roue d'un compteur. Il suffit donc de lire celui-ci avant et après le travail.

Cet appareil est employé depuis le 1er novembre 1887.

Perte de poids des chevaux pendant le travail.

Les tableaux suivants indiquent la perte de poids des chevaux pendant le travail au manège ainsi que pendant la marche.

DATE. — Janvier 1887.	DURÉE du travail ou de la marche.		CHEVAL N° 1, travail au pas.		CHEVAL N° 3, marche au pas.	
	Matin.	Soir.	Matin	Soir.	Matin.	Soir.
	Min.	Min.				
1	»	»	»	»	»	»
2	»	»	»	»	»	»
3	»	»	»	»	»	»
4	»	»	»	»	»	»
5	»	»	»	»	»	»
6	»	»	»	2200	»	900
7	»	147	2900	2300	800	700
8	150	178	1800	3000	700	400
9	»	»	300	2400	2600	700
10	»	»	2500	»	500	1400
11	»	»	2400	2400	100	1000
12	»	»	2900	Pluie.	800	Pluie.
13	»	157	2100	2800	500	700
14	»	»	2100	2600	600	1000
15	»	»	1900	1800	800	300
16	»	»	1900	2000	800	1000
17	146	»	1600	1800	1000	600
18	»	»	1800	2300	900	500
19	»	»	2800	2900	600	700
20	140	»	2500	2600	900	400
21	»	»	2500	»	1000	600
22	»	»	2300	2100	800	600
23	»	»	2000	2100	1000	800
24	»	»	2400	2400	900	800
25	»	»	2300	2300	1000	1000
26	»	»	2400	2500	900	900
27	»	»	2600	3300	500	700
28	»	148	2600	2600	700	700
29	»	»	2000	»	800	2000
30	»	»	3000	2500	800	1000
31	»	»	2200	2700	600	500
	Moyennes. .		2232	2436	900	727

DATE. — Février 1887.	DURÉE du travail ou de la marche.		CHEVAL N° 1, marche au pas.		CHEVAL N° 3, travail au pas.	
	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.
	Min.	Min.				
1	»	»	2700	3300	500	500
2	»	»	1300	1000	1900	1600
3	»	»	1000	1500	2000	2700
4	»	»	900	200	1800	1300
5	»	»	1200	1300	2100	2700
6	145	135	700	1500	1700	2700
7	148	145	1000	1100	1500	1500
8	145	150	700	600	1000	2400
9	140	145	900	200	900	1000
10	143	143	1900	1200	500	1400
11	140	145	1000	800	1300	1000
12	140	143	1000	600	900	1600
13	135	130	900	800	1500	1300
14	145	140	800	700	1500	1300
15	140	142	900	1100	1500	1300
16	140	130	1500	300	800	1500
17	142	140	1000	1000	900	1300
18	145	140	»	900	1000	1600
19	150	145	1600	1200	900	1200
20	145	135	1200	1200	1000	1500
21	145	147	2900	1000	1800	2200
22	137	135	1600	1600	1000	2200
23	150	144	1800	1700	1500	2400
24	148	144	1200	2300	1100	2300
25	152	146	800	1600	1100	1800
26	150	»	1200	2600	1500	1500
27	»	»	»	»	1500	2000
28	»	»	»	»	1400	3000
	Moyennes. .		1268	1203	1288	1750

DATE. — Mars 1887.	DURÉE du travail ou de la marche.		CHEVAL N° 1, marche au trot.		CHEVAL N° 3, travail au trot.		DATE. — Avril 1887.	DURÉE du travail.		CHEVAL N° 1, travail au trot.		CHEVAL N° 3, marche au trot.	
	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.		Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.
	Min.	Min.						Min.	Min.				
1	75	80	2600	2800	2900	4000	1	68	70	3800	4500	1100	1300
2	»	»	»	»	2100	2700	2	72	70	3200	4300	1000	1400
3	75	77	900	2900	1200	3100	3	75	73	3400	3800	1000	1500
4	75	80	1700	2100	1600	3500	4	70	68	5100	6300	1900	1800
5	75	85	1600	2600	1600	3600	5	75[1]	68	3900	4500	500	1300
6	76	80	1800	1400	2400	3700	6	70	72	3800	4700	900	1600
7	80	90	1800	1700	2100	2700	7	75[1]	70	2900	3600	700	900
8	80	80	1700	2700	2100	3600	8	70	68	3100	4600	1000	1600
9	82	80	2000	2400	2400	3600	9	72	67	4500	4500	1100	1000
10	88	85	2100	2200	2700	3000	10	66	70	3700	3900	1700	1200
11	74	85	2000	2200	2200	2100	11	70	72	3200	6000	800	1400
12	87	85	800	2200	1800	3200	12	75	77	3900	5000	1400	1300
13	»	75	»	2600	2600	2700	13	85	85	3700	4600	1300	1100
14	85	83	2300	3100	3600	2900	14	86	88	3600	3400	700	900
15	88	83	3000	2300	2100	2700	15	85	80	3300	4200	1300	1000
16	86	80	1900	2400	2100	2400	16	86	85	3500	4100	800	2000
17	90	77	1400	1600	2000	900	17	90	80	5400	4600	1800	1000
18	83	78	1600	2500	1500	2000	18	80	75	4600	5700	1100	1100
19	80	80	2200	2000	1700	1600	19	87	80	4200	5500	1000	2000
20	72	77	1900	1100	1900	1900	20	83	85	4500	5400	1600	2000
21	72	76	1400	2100	1400	2100	21	80	75	3900	6500	1600	2200
22	80	83	1100	2100	1800	2700	22	85	70	4100	5800	1600	2200
23	81	80	2400	2300	2600	2600	23	80	75	4000	4100	1700	1700
24	82	80	2300	3600	1400	3300	24	77	72	4500	6000	2000	2600
25	84	82	3300	3000	2500	2600	25	77	85	4000	5200	1400	2000
26	82	75	2600	4000	2800	2800	26	83	75	4000	5100	1100	2000
27	80	78	3300	3000	2500	3500	27	82	78	4100	5000	1600	2000
28	83	90	3000	2700	2500	3000	28	80	100[2]	4500	3000	900	200
29	85	80	1900	3000	2700	2900	29	110	105	3300	3300	800	700
30	78	84	2300	3000	3500	2400	30	118	120[2]	2200	2200	600	700
31	80	77	2100	3200	3000	3500		Moyennes. .		3873	4657	1200	1457
	Moyennes. .		2037	2513	2264	2816							

1. Pluie les 5 et 7 matin. — 2. Pluie les 28 et 30 soir.

DATE. — Mai 1887.	DURÉE du travail.		CHEVAL N° 1, travail au trot.		CHEVAL N° 3, travail au trot.		DATE. — Mai 1887.	DURÉE du travail.		CHEVAL N° 1, travail au trot.		CHEVAL N° 3, travail au trot.	
	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.		Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.
	Min.	Min.						Min.	Min.				
1	65	75	5000	4100	»	»	1	61	70	»	»	2800	4100
2	77	77	6100	5500	»	»	2	68	73	»	»	3000	5200
3	80	80	6000	5700	»	»	3	76	75	»	»	4400	5280
4	75	75	5100	4600	»	»	4	80	70	»	»	3600	3800
5	70	72	5000	4900	»	»	5	83	78	»	»	[illegible]	4700
6	88	74	3900	4800	»	»	6	81	47	»	»	3500	5100
7	78	83	4300	4200	»	»	7	82	72	»	»	3600	3900
8	76	80	4900	4700	»	»	8	78	73	»	»	3600	2200
9	77	79	6600	5000	»	»	9	77	78	»	»	6800	4900
10	71	75	4800	4400	»	»	10	81	81	»	»	4100	4900
11	77	69	4700	5[illegible]00	»	»	11	82	67	»	»	4500	4100
12	72	73	3700	4800	»	»	12	85	69	»	»	3100	4600
13	65	73	4000	3600	»	»	13	81	74	»	»	3200	2800
14	70	66	3500	4300	»	»	14	75	65	»	»	4000	4400
15	87	70	»	5300	»	»	15	71	68	»	»	4000	4500
16	79	66	4900	4200	»	Pluie.	16	68	74	»	»	4100	2600
17	74	72	6100	5700	»	»	17	81	76	»	»	4500	5100
18	71	77	4300	4300	»	Pluie	18	81	74	»	»	4800	3300
19	73	82	5100	4900	»	»	19	82	78	»	»	3000	4200
20	75	78	3500	4800	»	»	20	82	83	»	»	2600	3400
21	77	83	4000	4100	»	»	21	76	79	»	»	3500	2300
22	79	85	3900	4300	»	»	22	75	80	»	»	3200	4100
23	84	81	4500	5500	»	»	23	76	81	»	»	4000	4200
24	87	81	5200	4900	»	»	24	75	76	»	»	3600	4000
25	79	84	5100	4400	»	»	25	80	78	»	»	3700	3500
26	82	79	4800	5100	»	»	26	80	89	»	»	3200	4200
27	74	82	5000	4900	»	»	27	81	73	»	»	3500	3800
28	86	78	6900	4500	»	»	28	76	74	»	»	3700	4800
29	76	80	5200	5300	»	»	29	76	75	»	»	4000	3500
30	78	81	5200	4100	»	»	30	74	79	»	»	4500	4600
31		77	6100	6000	»	»	31	79	75	»	»	5500	5500
	Moyennes. .		4927	4829	»	»		Moyennes. .		»	»	3812	4115

DATE. — Juin 1887.	DURÉE du travail.		CHEVAL N° 3, travail au trot.		DATE. — Juin 1887.	DURÉE du travail.		CHEVAL N° 3. travail au trot.	
	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.		Matin.	Soir.	Matin.	Soir.
	Min.	Min.				Min.	Min.		
1	75	77	5200	5000	16	85	82	6000	5600
2	78	84	4200	5100	17	82	79	4700	5600
3	81	76	2000	4100	18	82	77	5800	5300
4	88	79	4000	3900	19	79	78	6300	6600
5	83	80	4200	5000	20	84	82	6200	5900
6	83	76	5100	5400	21	75	82	4600	5600
7	83	74	5300	6600	22	85	77	4500	5300
8	85	77	5900	5700	23	84	79	4100	6300
9	77	76	5000	5900	24	82	79	4600	5000
10	83	75	4900	4600	25	82	77	4300	5400
11	80	78	5200	5400	26	80	82	4800	4300
12	83	81	5400	6100	27	83	77	3700	4700
13	80	90	5000	7000	28	83	82	4900	6200
14	79	73	5300	5300	29	80	115	3500	3700
15	84	88	5100	7600	30	82	81	4400	3900
						Moyennes . . .		4807	5103

Le travail à la voiture a été effectué en juillet 1887. Le cheval n° 1 a travaillé pendant 15 jours ainsi que le cheval n° 3. Chaque cheval travaillait un jour sur deux en alternant.

Le cheval n° 1 a effectué un parcours moyen journalier de 47^{km},238 et fait un travail correspondant de 1 034 179 kilogrm.

Le cheval n° 3 a fait un parcours moyen de 53^{km},341 et un travail moyen correspondant de 1 168 808 kilogrm.

La traction moyenne de la voiture était de 21^{kgrm},912.

Voyons maintenant comment ont varié les coefficients de digestibilité :

TABLEAU.

	MATIÈRE sèche.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1. — Au repos.								
Juillet 1886	61,44	63,69	100,0	41,98	94,42	67,27	70,66	32,47
Août 1886	61,39	62,47	100,0	45,09	95,00	72,18	73,56	27,03
Septembre 1886	59,63	60,63	100,0	32,05	93,59	66,12	71,23	35,85
Octobre 1886.	59,18	59,88	100,0	34,25	93,67	63,57	70,75	29,87
Novembre 1886.	59,27	60,52	100,0	33,91	93,19	54,15	71,08	32,31
Décembre 1886.	59,64	61,22	100,0	41,03	96,29	65,44	69,69	21,01
Moyennes.	60,09	61,40	100,0	38,55	94,36	64,78	71,16	29,76
Cheval n° 3. — Au repos.								
Juillet 1886	62,86	64,29	100,0	43,63	95,43	72,58	66,28	34,69
Août 1886	58,68	59,41	100,0	39,37	92,28	68,40	70,13	23,18
Septembre 1886	58,10	59,09	100,0	30,66	91,13	66,03	60,48	37,47
Octobre 1886.	58,38	59,41	100,0	33,97	92,04	58,93	62,28	33,33
Novembre 1886.	57,07	58,21	100,0	31,43	92,67	61,25	63,65	28,41
Décembre 1886.	59,41	60,67	100,0	34,15	94,78	71,63	61,46	26,67
Moyennes.	59,08	60,18	100,0	35,53	93,05	66,47	64,04	30,63
Moyennes générales pour les 2 chevaux.	59,58	60,28	100,0	37,04	93,70	65,62	67,60	30,19

	MATIÈRE sèche.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr	Gr.	Gr.
Cheval n° 1. — A la marche au pas.								
Février 1887.	60,28	62,08	100,0	28,47	98,18	66,84	70,92	26,02
Cheval n° 3. — A la marche au pas.								
Janvier 1887.	59,51	61,12	100,0	36,16	94,30	68,41	64,99	22,92
Moyennes générales. .	59,89	61,60	100,0	32,31	96,24	67,62	67,95	24,47
Cheval n° 1. — A la marche au trot.								
Mars 1887	61,31	64,04	100,0	27,32	94,88	70.93	70,24	53,91
Cheval n° 3. — A la marche au trot.								
Avril 1887	54,82	57,41	100,0	26,20	92,89	62,02	58,24	32,40
Moyennes générales. .	58,06	60,72	100,0	26,76	93,88	66,47	64,24	43,15

	MATIÈRE sèche.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Cheval n° 1. — Travail au pas.								
Janvier 1887	59,98	61,73	100,0	39,76	94,75	68,53	71,58	20,69
Cheval n° 3. — Travail au pas.								
Février 1887	58,26	59,93	100,0	20,24	95,54	66,24	64,62	26,24
Moyennes générales	59,12	60,85	100,0	30,00	95,14	67,38	68,10	23,46
Cheval n° 1. — Travail au trot.								
Avril 1887	59,08	61,61	100,0	27,49	98,01	65,85	68,66	31,32
Mai 1887	57,72	59,67	100,0	23,23	97,80	70,71	67,46	4,77
Moyennes	58,40	60,64	100,0	25,36	97,92	68,28	68,06	18,04
Cheval n° 3. — Travail au trot.								
Mars 1887	55,93	58,52	100,0	23,57	95,53	66,75	60,60	41,15
Mai 1887	56,47	58,20	100,0	25,26	97,49	71,97	61,05	0,40
Juin 1887	54,11	55,03	100,0	25,83	97,72	69,59	59,06	20,72
Moyennes	55,50	57,25	100,0	24,88	96,91	69,43	60,23	20,85
Cheval n° 1. — Travail à la voiture.								
Juillet 1887	54,22	56,77	100,0	36,10	96,06	70,67	60,51	6,38
Cheval n° 3. — Travail à la voiture.								
Juillet 1887	54,39	56,77	100,0	30,93	98,30	70,62	58,99	3,11
Moyennes générales	54,30	56,76	100,0	33,51	97,18	70,64	59,75	4,74

D'après ce tableau, le coefficient de digestibilité a varié chez le cheval n° 1 de :

	P. 100.			P. 100.	
Pour la substance sèche	54.22	(T. V.)	à	61.31	(M. T.)
Pour la substance organique	56.76	(T. V.)	à	64.04	(M. T.)
Pour la cellulose brute	25.36	(T. T.)	à	39.76	(T. P.)
Pour l'amidon	94.36	(Repos)	à	98.18	(M. P.)
Pour la graisse	64.78	(Repos)	à	70.93	(M. T.)
Pour la cellulose saccharifiable	6.38	(Voiture)	à	53.91	(M. T.)
Pour la protéine	60.51	(Voiture)	à	71.58	(T. P.)

Chez le cheval n° 3 on observe les variations extrêmes suivantes :

	p. 100.			p. 100.	
Pour la substance sèche.	54.39	(T. V.)	à	59.58	(Repos)
Pour la substance organique. . .	56.76	(T. V.)	à	61.12	(M. P.)
Pour la cellulose brute	20.24	(T. P.)	à	35.54	(Repos)
Pour l'amidon.	92.89	(M. T.)	à	98.30	(T. V.)
Pour la graisse	62.02	(M. T.)	à	70.62	(T. V.)
Pour la cellulose saccharifiable. .	3.11	(Voiture)	à	30.63	(Repos)
Pour la protéine.	58.24	(M. T.)	à	64.99	(M. P.)

De la comparaison de ces coefficients, il serait difficile de déduire l'influence prédominante de tel ou tel principe dans la production de la force, du travail par conséquent. Mais il n'en est plus de même si l'on compare les quantités journalières des divers principes qui ont été digérés : il ressort nettement que ce sont les graisses et l'amidon qui, pendant le travail, ont été employés en plus grande proportion. Il est donc naturel d'accorder aux graisses et à l'amidon un rôle prépondérant dans la production du travail. Ces expériences confirment donc encore les conclusions que nous avons posées à ce sujet dans nos 1er et 2e mémoires de 1881-1882.

Les tableaux suivants où sont groupées par cheval les quantités des éléments des fourrages qui ont été digérées chaque jour, montrent clairement le fait dont il s'agit.

Ainsi, en ce qui concerne le cheval n° 1, on voit que de juillet 1886 à décembre la quantité de protéine digérée a varié de 402 grammes à 523 grammes par jour et l'amidon digéré de 1 653gr,9 à 2 506gr,7, tandis que pendant le travail la quantité de protéine digérée a été à peu de chose près la même, elle a oscillé de 430gr,8 à 529gr,9 ; mais l'amidon a notablement augmenté : il a oscillé de 1 814 grammes (marche au trot) à 3 474 grammes.

Pour le cheval n° 3, nous voyons que la protéine digérée a varié de 380gr,8 à 498gr,8 pendant le repos et que pendant le travail elle a oscillé de 357 grammes à 479gr,6.

Mais l'amidon qui avait varié de 1 687gr,2 à 2 467gr,2 pendant le repos, a oscillé de 2 144gr,9 à 3 463 grammes pendant le travail.

Des observations semblables peuvent être faites sur la graisse.

	MATIÈRE sèche.	MATIÈRE organique.	GLUCOSE.	CELLULOSE brute.	AMIDON.	GRAISSE.	PROTÉINE.	CELLULOSE saccharifiable et Indéterminés.
Cheval n° 1.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Juillet 1886. — Repos	3115,8	3093,6	78,8	323,2	1653,9	136,7	402,2	498,8
Août 1886. — Repos	4186,8	4072,9	77,2	507,0	2254,8	175,7	523,2	539,0
Septembre 1886. — Repos	4249,4	4133,7	87,9	335,1	2206,3	167,5	473,0	863,9
Octobre 1886. — Repos.	4195,4	4052,6	82,1	342,0	2300,0	167,2	475,3	686,0
Novembre 1886. — Repos.	4160,8	4049,0	69,8	320,7	2299,6	146,5	470,7	731,7
Décembre 1886. — Repos.	4098,8	4015,6	73,9	388,6	2506,7	173,3	415,8	427,3
Janvier 1887. — Travail au pas. . . .	4107,5	4010,9	77,0	415,4	2536,3	171,4	455,8	385,0
Février 1887. — Marche au pas. . . .	4115,4	4053,6	81,7	296,2	2559,0	158,1	456,5	499,1
Mars 1887. — Marche au trot.	4140,3	4126,5	49,2	298,5	1814,2	155,0	430,8	1378,8
Avril 1887. — Travail au trot.	4538,2	4515,8	54,7	306,0	2751,7	165,5	488,9	749,0
Mai 1887. — Travail au trot.	4721,9	4647,4	55,0	284,3	3471,3	213,7	529,9	89,2
Juin 1887. — Marche au trot	4625,4	4567,2	49,9	351,4	2743,0	218,6	520,2	684,1
Juillet 1887. — Travail à la voiture. .	4531,4	4516,0	69,2	475,8	3270,8	214,7	480,1	135,4
Cheval n° 3.								
Juillet 1886. — Repos	3214,3	3148,9	79,5	315,8	1687,2	148,8	380,8	536,8
Août 1886. — Repos	4002,6	3873,7	77,2	442,9	2190,2	166,5	498,8	502,1
Septembre 1886. — Repos	4140,5	4028,6	87,9	320,6	2148,3	167,2	401,6	903,0
Octobre 1886. — Repos.	4138,9	4020,3	82,1	339,2	2260,1	155,0	418,4	765,5
Novembre 1886. — Repos.	4006,4	3891,3	69,8	297,2	2286,7	165,7	421,5	643,4
Décembre 1886. — Repos.	4083,3	3979,1	73,9	323,5	2467,4	189,7	393,1	511,5
Janvier 1887. — Marche au pas. . . .	4075,8	4000,8	77,0	388,2	2524,1	171,1	413,8	426,6
Février 1887. — Travail au pas. . . .	3977,6	3913,6	84,7	210,6	2542,3	156,7	415,9	503,4
Mars 1887. — Travail au trot.	4249,8	4246,9	55,1	274,7	2141,9	168,7	432,2	1171,3
Avril 1887. — Marche au trot.	3746,9	3738,2	47,9	273,6	2218,7	135,1	357,0	715,9
Mai 1887. — Travail au trot.	4619,4	4533,0	55,0	309,1	3463,1	217,5	479,6	8,7
Juin 1887. — Travail au trot	4411,6	4367,9	49,9	314,0	2809,8	203,7	452,9	537,6
Juillet 1887. — Travail à la voiture. .	4585,7	4586,0	69,4	415,0	3349,4	215,4	469,7	67,1

Il est donc manifeste que le travail influe sur le coefficient de digestibilité, en particulier sur la protéine. En effet, pendant le travail la quantité de protéine digérée est restée à peu près la même que pendant le repos, cependant le cheval en recevait dans sa ration une quantité absolue beaucoup plus grande pendant le travail que pendant le repos.

Il faut remarquer aussi que la cellulose saccharifiable et les indéterminés ne paraissent être digérés en notable quantité qu'autant que la quantité d'amidon digérée a été insuffisante. Lorsqu'il y a de 3 300 à 3 400 d'amidon de digéré, la quantité de cellulose saccharifiable tombe à 8.7 (c. 3. Mai 1887), à 67.1 (cheval n° 3. Juillet

1887). Mais si l'amidon fait défaut pendant le travail comme en mars 1887 pour le cheval n° 1 ou en mars 1887 pour le cheval n° 3, la quantité de cellulose saccharifiable digérée atteint alors un chiffre élevé : 1 378 grammes, cheval n° 1, mars 1887 ; 1 171 grammes, cheval n° 3, mars 1887.

De là ressort la nécessité de séparer, comme nous le faisons actuellement, l'amidon de la cellulose saccharifiable et des inderminés. En opérant autrement, c'est-à-dire en comptant l'amidon et la cellulose saccharifiable et les indéterminés en bloc sous le nom de matières extractives ou de matières non azotées, on commet de notables erreurs. Il n'est pas admissible d'assimiler à l'amidon, qui est digéré dans la proportion de plus de 90 p. 100, des matières indéterminées et de la cellulose saccharifiable dont le coefficient de digestibilité peut presque s'annuler dans certains cas (comme en juillet 1887 avec le travail de la voiture) et se trouve toujours très inférieur à celui de l'amidon.

Si l'on compare les coefficients de digestibilité obtenus dans ces expériences à ceux qui ont été obtenus pour les mêmes chevaux lorsqu'ils ne consommaient que de l'avoine seulement (expériences de 1885-1886 formant la 1re série), on trouve que la paille d'avoine ajoutée à l'avoine a eu pour effet de faire baisser les coefficients. Dans les deux cas, le glucose a été totalement digéré, mais les coefficients de digestibilité des autres principes immédiats ont été abaissés. C'est la protéine qui a subi la plus forte dépression. Au lieu d'avoir des coefficients de digestibilité pour le repos allant de 71.84 p. 100 à 85.20 p. 100, nous ne trouvons plus, après l'addition de paille, que de 60.48 p. à 71.23 p. 100. C'est donc une diminution de plus de 10 p. 100. L'amidon, moins sensible à l'action de la paille, n'a subi qu'une diminution de 4 à 5 p. 100.

Incidemment on a déterminé la quantité d'avoine qui échappe à la digestion et qui par suite est éliminée dans les fèces.

Pendant les mois de juillet et d'août 1886, les chevaux consommèrent un mélange composé d'avoine concassée et de paille hachée. A partir du 1er septembre, on donna l'avoine entière non concassée.

Dès le 2 septembre, des grains entiers d'avoine apparaissent dans les fèces. Depuis le 3 septembre on détermina la quantité de grains

d'avoine contenus dans un kilogramme de fèces fraîches. Comme d'autre part on avait le poids journalier des excréments solides, un simple calcul donnait alors le poids d'avoine qui échappait à la digestion.

Voici les résultats obtenus en septembre 1886 :

DATE de l'examen des fèces.	AVOINE contenue dans 1 kilogr. des fèces du		AVOINE contenue dans les fèces rendues chaque jour par le	
	cheval n° 1.	cheval n° 3.	cheval n° 1.	cheval n° 3.
—	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
3 septembre 1886	1,310	8,355	11,71	77,45
5 —	1,205	6,614	11,72	73,08
10 —	1,520	9,520	14,93	91,20
12 —	2,122	8,507	21,47	90,70
13 —	2,675	8,460	26,72	90,01
15 —	2,134	8,039	21,47	88,35
16 —	2,109	9,704	21,93	100,82
17 —	1,908	10,580	21,41	121,46
19 —	1,708	7,100	20,37	75,62
22 —	2,692	8,120	29,13	90,54
24 —	3,172	6,945	33,05	77,37
26 —	3,572	9,025	40,72	98,10
27 —	2,620	7,580	27,22	83,98
28 —	2,210	7,320	22,37	80,08
29 —	3,085	11,390	33,44	122,80
30 —	3,310	13,628	34,36	149,46
Moyennes . . .	2,334	8,805	24,50	94,46

Ces chiffres montrent que le cheval n° 1 mastiquait mieux sa nourriture que le cheval n° 3. Dans ces essais, l'avoine a toujours été mélangée à la paille hachée. Mais qu'arrivera-t-il si le cheval mange l'avoine seule, c'est-à-dire les 4^{kg},500 d'avoine qui forment le sac de ville?

Durant le mois d'octobre 1886, les chevaux consomment séparément tous les deux jours un poids de 4^{kg},500 d'avoine non concassée. Le jour où ils mangent séparément ces 4^{kg},500, ils reçoivent, en outre, chacun 1 kilogr. d'avoine et 2^{kg},500 de paille hachée. Le jour où ils ne mangent pas ces 4^{kg},500 d'avoine du sac de ville, ils reçoivent 5^{kg},500 d'avoine et 2^{kg},500 de paille hachée, Voici les résultats qui ont été obtenus :

DATE.	AVOINE contenue dans 1 kilogr. de fèces du		AVOINE contenue dans les fèces rendues chaque jour par le	
—	cheval n° 1.	cheval n° 3.	cheval n° 1.	cheval n° 3.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
1er octobre 1886. . . .	2,955	15,255	32,091	168,72
2 —	»	12,505	»	»
3 —	3,050	11,944	38,140	149,810
4 —	2,065	12,980	24,664	119,56
5 —	1,830	13,842	23,753	129,93
6 —	2,250	13,740	31,144	154,34
7 —	2,582	11,990	35,476	137,25
8 —	2,830	11,412	33,018	129,153
9 —	3,185	10,273	38,188	127,33
10 —	2,468	13,275	28,165	122,91
11 —	2,057	10,200	21,132	90,99
12 —	2,718	10,270	36,081	135,80
13 —	0,512	7,764	5,220	102,20
14 —	3,275	7,607	35,664	114,716
15 —	2,801	7,932	26,105	84,627
16 —	3,470	7,155	35,359	83,829
17 —	3,107	7,935	30,107	82,889
18 —	3,925	8,818	40,585	82,426
19 —	3,660	11,847	38,357	85,698
20 —	4,257	7,235	47,636	94,794
21 —	3,315	13,322	32,653	124,986
22 —	3,349	7,400	33,959	72,784
23 —	3,720	10,930	34,335	132,554
24 —	4,086	12,496	36,978	70,448
25 —	3,179	9,842	31,981	132,348
26 —	3,552	10,000	35,271	118,087
27 —	3,762	11,667	35,287	80,508
28 —	4,143	10,000	42,839	93,000
29 —	4,572	14,632	42,062	133,297
30 —	3,913	14,555	40,030	146,860
31 —	3,614	10,585	34,441	98,970
Moyenne. . .	3,140	9,802	32,287	143,989

L'ingestion de l'avoine seule augmente donc d'environ 50 p. 100 la quantité de grains passant dans les fèces.

Pour compléter cette étude, il était nécessaire de rechercher ce que donnerait l'avoine aplatie employée dans les mêmes conditions. Dans ce but, le cheval n° 3, qui en octobre avait laissé dans les fèces 144 grammes d'avoine par jour, reçut du 1er au 15 novembre inclus

de l'avoine aplatie qu'il mangea mélangée à la paille d'avoine hachée. Le cheval n° 1 continua l'essai fait en octobre avec de l'avoine non aplatie. Les résultats obtenus sont très caractéristiques ; dès le cinquième jour, le cheval n° 3 ne rendit plus qu'une quantité insignifiante de grains, et encore cette quantité qui reste à peu près la même du 5 au 15 novembre inclus, vient très probablement de la paille d'avoine imparfaitement battue. En effet, les grains entiers retrouvés dans les fèces ne peuvent avoir une autre origine. Le 16 novembre, la provision d'avoine aplatie étant épuisée, on redonna au cheval n° 3 de l'avoine entière, et dès le lendemain les fèces contenaient une forte proportion d'avoine.

Ici, comme pendant les mois précédents, l'extraction des grains des fèces fut faite à la main. Une fois séparés, les grains étaient desséchés à l'air et pesés.

Voici les résultats qui ont été obtenus en novembre 1886 :

DATE.	AVOINE contenue dans 1 kilogr. de fèces du		AVOINE contenue dans les fèces rendues chaque jour par le	
—	cheval n° 1. — Gr.	cheval n° 3. — Gr.	cheval n° 1. — Gr.	cheval n° 3. — Gr.
1er novembre	3,848	11,860	41,790	120,497
2 —	4,362	9,352	43,033	85,290
3 —	5,244	3,670	54,485	34,792
4 —	3,750	0,894	38,588	8,368
5 —	4,416	0,312	42,482	3,129
6 —	3,120	0,462	32,011	4,662
7 —	4,080	0,216	41,738	1,948
8 —	3,460	0,331	30,552	3,101
9 —	4,200	0,191	42,336	1,914
10 —	3,350	0,402	35,543	3,911
11 —	3,149	0,277	29,789	2,700
12 —	3,940	0,290	38,691	2,938
13 —	3,053	0,395	28,789	3,922
14 —	3,620	0,151	35,258	1,436
15 —	3,152	0,217	28,872	2,330
16 —	2,760	0,120	31,491	1,316
17 —	4,087	3,905	36,497	35,808
18 —	2,572	4,490	27,854	43,643
19 —	1,270	6,200	12,319	62,186
20 —	1,280	5,340	13,645	53,239
21 —	2,480	7,690	21,725	78,053

DATE.	AVOINE contenue dans 1 kilogr. de fèces du		AVOINE contenue dans les fèces rendues chaque jour par le	
	cheval nº 1.	cheval nº 3.	cheval nº 1.	cheval nº 3.
—	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
22 novembre	1,960	8,220	17,091	71,935
23 —	1,312	6,255	30,473	57,358
24 —	1,901	3,210	16,767	29,307
25 —	2,608	2,730	26,419	23,150
26 —	3,140	7,100	26,188	64,823
27 —	3,860	3,670	40,260	33,800
28 —	1,620	6,715	13,624	61,240
29 —	4,080	7,235	41,167	70,541
30 —	1,550	7,720	13,392	70,557

Si l'on examine les coefficients de digestibilité, on trouve qu'ils sont plus grands pour l'avoine aplatie que pour l'avoine non aplatie. Il ressort de là et des chiffres ci-dessus que lorsqu'on veut obtenir le maximum dans l'utilisation de l'avoine, celle-ci doit être concassée.

Les résultats précédents sont contrôlés par un moyen indirect basé sur le dosage de l'amidon.

En effet, nous trouvons, par exemple, pour le mois de septembre 1886 que le cheval nº 1 rendait dans les fèces 24gr,50 d'avoine sur 5kg,500 d'avoine consommée, soit une perte de 4.4 p. 1 000.

Et que le cheval nº 3 rendait dans les fèces 94gr,46 d'avoine sur la même quantité, 5kg,500, consommée, soit une perte de 17.10 p. 1 000.

Or, on a obtenu :

	CHEVAL Nº 1.	CHEVAL Nº 3.
	P. 100.	P. 100.
Amidon dans les fèces en juillet	5.00	4.25
— — en août.	4.50	6.50
Moyenne de juillet-août	4.75	5.375

D'autre part on a :

	CHEVAL Nº 1.	CHEVAL Nº 3.
Amidon en septembre.	5.25 p. 100	7.00 p. 100
D'où perte d'amidon	0.50 —	1.625 —
Soit en chiffres ronds.	5.00 p. 1000	16.25 p. 1000
Au lieu de	4.40 —	17.00 —

L'aplatissage de l'avoine conduit donc à une économie pouvant aller de 5 à 16 millièmes du poids d'avoine employée.

On a vu qu'au début de ces essais la circonférence abdominale des deux chevaux était :

Pour le cheval n° 1.	$1^m,50$
Pour le cheval n° 3.	1 ,52

Le 20 juillet 1886, alors qu'ils ne consommaient encore par jour que $1^{kg},500$ de paille, la circonférence était devenue :

Pour le cheval n° 1	$1^m,626$
Pour le cheval n° 3	1 ,615

Enfin, un mois après, le 20 août 1886, lorsque les chevaux consommaient par jour $5^{kg},500$ d'avoine et $2^{kg},500$ de paille, leur circonférence était devenue :

Pour le cheval n° 1	$1^m,74$
Pour le cheval n° 3	1 ,71

En moins de deux mois, l'augmentation avait donc atteint :

Pour le cheval n° 1. . . . . $\frac{0.24}{1.5} = 0.16$

Pour le cheval n° 3. . . . . $\frac{0.19}{1.52} = 0.12$

Paris, le 19 juillet 1888.

PRINCIPES

DE

L'ALIMENTATION RATIONNELLE DU CHEVAL

NOUVELLE SÉRIE D'EXPÉRIENCES

EXÉCUTÉES EN 1885-1886 A LA STATION D'HOHENHEIM

PAR

Le professeur Dr E. WOLFF
Le professeur SIEGLIN, le Dr C. KREUHAGE, et le Dr E. MEHLIS.
(*Rapporteur :* E. WOLFF)

SUR LA CAPACITÉ DE TRAVAIL DU CHEVAL SUIVANT LA TENEUR PLUS OU MOINS GRANDE EN AZOTE DE SA NOURRITURE, ET SUR LA CIRCULATION DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX DANS LE CORPS DE CET ANIMAL.

L'opinion d'après laquelle l'albumine assimilable que les animaux tirent de leurs aliments augmente dans une notable proportion leur force musculaire, et par suite le travail mécanique qu'ils peuvent produire, est toujours assez répandue, notamment chez les praticiens. Néanmoins, il est admis actuellement que si l'absorption journalière d'une certaine dose d'albumine est indispensable pour l'entretien des fonctions régulières de la vie, toute la quantité d'albumine absorbée au-dessus de ce minimum n'a d'autre valeur que celle qui correspond à sa capacité calorifique.

Max Rubner a établi, en effet, que les différentes matières nutritives peuvent se remplacer proportionnellement à leur capacité calorifique. Il est vraisemblable, d'après cela, qu'au point de vue de la nutrition, une partie d'albumine assimilable équivaut à une partie d'hydrate de carbone également assimilable (amidon); et, qu'au

même point de vue, les hydrates de carbone et la graisse peuvent se remplacer dans le rapport de 1 à 2.39[1].

La question de savoir si l'albumine consommée par les animaux de travail, et par le cheval en particulier, en vue d'un accroissement de force, n'a réellement pas plus de valeur que des quantités égales d'hydrates de carbone, n'avait pas été tranchée avec certitude par les recherches exécutées jusqu'en 1885 à Hohenheim ; mais les expériences rapportées dans le présent mémoire sont concluantes sur ce point.

L'idée dominante dans ces recherches est la suivante :

On veut comparer les travaux que peut exécuter un cheval sous l'influence de deux rations, l'une pauvre, l'autre riche en protéine. Pour cela, on détermine d'abord les poids des deux rations que digère l'animal, ce qui permet d'évaluer les quantités des différentes matières nutritives qu'il a intégralement absorbées. On évalue ensuite, à l'aide d'un manège dynamométrique[2], le travail (exprimé en kilogrammètres) que le cheval est susceptible d'effectuer sous l'influence de chacune des deux rations, tout en conservant le même poids vif. Cette dernière appréciation est obtenue par la pesée des animaux, et elle est contrôlée par la détermination de l'urée excrétée. Les quantités de matières nutritives digérées, calculées avec les coefficients : albumine 1, graisse 2.44, hydrates de carbone 1, peuvent alors être comparées directement avec le travail effectué.

Période I

Au début de cette période, le cheval d'essai pesait 485 kilogr., c'est-à-dire un peu plus que le poids vif moyen. Il dut être réduit à 475 kilogr., en même temps qu'on déterminait le travail que l'animal pouvait accomplir avec une alimentation déterminée ; celle-ci fut fixée à 6 kilogr. de foin et 5 kilogr. d'avoine de bonne qualité. Sous l'influence d'un travail journalier de 600 tours de manège, avec une

1. Dans les calculs qui suivent, on a cependant toujours conservé l'ancien rapport 1 : 2.44.

2. Pour plus de détails, voir : *Annales de la Science agronomique*, t. I, 1888, p. 395.

traction de 75 kilogr., correspondant approximativement à 1 600 000 kilogrammètres [1], le poids de l'animal soumis à l'essai tomba de 485 à 475 kilogr. du 16/18 novembre au 10/12 décembre. Le travail était donc trop fort pour la nourriture fournie à l'animal. En diminuant le nombre de tours du manège de 600 à 500, le poids du cheval remonta de 474kg,7 à 475kg,5 entre le 13 et le 23 décembre. Les auteurs du présent mémoire admettent en conséquence qu'en conservant un poids rigoureusement constant l'animal est susceptible d'effectuer un travail évalué assez exactement à 525 tours de manège par jour, et qui correspond en nombre rond à 1 400 000 kilogrm.

La différence entre le poids des aliments et celui des excréments donne la quantité de nourriture assimilée ; car les rations alimentaires ont toujours été absorbées en totalité.

	NOURRITURE sèche.	SUBSTANCE organique.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Nourriture. 6 kilogr. foin	4949,10	4590,57	592,44	191,54	1363,56	2443,02
Nourriture. 5 kilogr. avoine. . . .	4227,50	4053,32	537,32	250,27	506,03	2759,71
Total.	9176,90	8643,89	1129,76	441,81	1869,59	5202,73
Excréments	3663,62	3292,13	330,46	291,26	1205,22	1465,08
Matières assimilées.	5513,28	5351,76	799,30	150,55	664,26	3737,65
Taux p. 100	60.08	61.91	70.75	34.08	35.53	71.84

1. Voici comment ce nombre a été déterminé :

A chaque tour du manège, le cheval parcourt 26m,39. Donc 600 tours, avec une traction de 75 kilogr., correspondent à un travail de

$$600 \times 26{,}39 \times 75 = 1\,187\,550 \text{ kilogrammètres.}$$

En raison de l'obliquité de la traction, le cheval avait à dépenser une somme de force notablement plus grande. Pour en tenir compte, il faut multiplier le nombre précédent par le facteur 1,0937

$$1\,187\,550 \times 1{,}0937 = 1\,298\,823 \text{ kilogrammètres.}$$

Il faut encore tenir compte de l'effort que doit faire le cheval pour déplacer son propre corps, et qui correspond pour chaque centaine de tours du manège à 50 000 kilogrammètres. On arrive ainsi à

$$1\,298\,823 + 6 \times 50\,000 = 1\,598\,823 \text{ kilogramm.}$$

ou en nombre rond à 1 600 000 kilogrammètres. (Voir *Annales de la Science agronomique,* t. I, 1888, p. 396.)

En ajoutant, comme il a été dit ci-dessus, aux poids d'albumine, de cellulose brute et d'extractifs non azotés, celui de la graisse multiplié par 2.44, on trouve pour la totalité des matériaux nutritifs assimilés 5 568^{gr},55. Le rapport nutritif est 799,30 : 4 769,25 = 1 : 5,97.

D'après nos anciennes recherches[1], 100 grammes de matériaux nutritifs produisent un travail de 85 400 kilogrm. Le travail journalier de 1 400 000 kilogrm. correspond d'après cela à 1 634 grammes de matière nutritive ; il en résulte que l'on dispose de (5 568-1 634) = 3 934 grammes de matière nutritive pour maintenir l'animal dans un état moyen de santé (poids vif 475 kilogr.), sans lui faire effectuer aucun travail ; on arrive donc à un nombre presque égal à celui qui a été trouvé, avec le même cheval, au cours des expériences exécutées de 1881 à 1884 et en 1885.

Période II

On soumit à l'essai, pendant cette période, le mélange nutritif presque généralement employé, composé de 6 kilogr. de foin, 5 kilogr. d'avoine, et 1 kilogr. de paille hachée (en somme, 1 kilogr. de paille hachée ajoutée au mélange de la période I).

Avec un travail journalier de 600 tours de manège, on constata, du 24/26 décembre au 14/16 janvier une augmentation de poids de 477^{kg},8 à 478^{kg},7. Malgré cela, on peut considérer le travail précité comme l'équivalent de la ration fournie à l'animal. Sur 130^{gr},05 d'azote assimilé, on en a dosé 129^{gr},36 dans l'urine.

---

1. *Grundlagen,* etc., p. 129. De toutes les expériences exécutées, soit avec addition d'amidon pur, soit avec une augmentation de la ration d'avoine, on déduit que 315 grammes de matière nutritive équivalent à 100 tours de manège à 76 kilogr., c'est-à-dire à 269 000 kilogrammètres.

TABLEAU.

		MATIÈRE sèche.	MATIÈRE organique.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.
Nourriture.	6 kilogr. foin	5030,40	4665,70	593,08	191,67	1385,87	2492,10
	5 kilogr. avoine. . . .	4296,50	4119,18	546,09	254,35	514,29	2804,75
	1 kilogr. paille	838,60	784,51	30,03	15,93	409,82	328,73
	Total.	10165,50	9569,69	1169,20	461,95	2309,98	5625,58
Excréments		4372,68	3938,17	356,37	308,71	1512,07	1761,32
Assimilé.		5792,82	5631,22	812,83	156,24	797,91	3861,26
Taux p. 100		56.99	58.84	69.52	33.60	34.50	68.69

Il résulte de ces chiffres que pour la totalité de l'alimentation le rapport nutritif est égal à 812,8 : 5 043,10, c'est-à-dire à 1 : 6,20; et que la somme des matières nutritives assimilées s'élève à 5 856^{gr},23. Le travail journalier de 600 tours de manège correspond à 1 600 000 kilogrm. et équivaut à 1 872 grammes de matières nutritives ; de telle sorte qu'uniquement pour maintenir à l'animal son poids vif moyen, on dispose de 3 984 grammes de ces matières ; c'est à peu près le nombre fourni par la première période de recherches.

Périodes III et V

Pour réaliser la comparaison projetée, entre une nourriture riche et une nourriture pauvre en albumine, on a substitué à 2^{kg},5 d'avoine de la ration correspondante à la période II, une quantité égale de haricots. Pour la période III, ces haricots furent introduits dans la ration sans avoir été ni imbibés d'eau, ni moulus ; pour la période V, au contraire, on les mit préalablement à digérer, pendant 24 heures, avec leur poids d'eau pour les faire gonfler. Cette dernière opération ayant à peine accru la proportion de matières assimilées, on peut réunir les expériences des périodes III et IV.

600 tours de manège par jour, comme dans la période II, ont produit les variations suivantes dans le poids de l'animal :

Période III.	17-19 janvier. .	478 kilogr. .	19-20 février. .	477 kilogr.
— V.	26-28 mars. . .	475^{kg},7	16-18 avril. . .	472^{kg},5

D'après cela, les 600 tours de manège constituent le travail maximum correspondant à la ration alimentaire considérée ; et l'on peut déjà conclure, en toute certitude, que dans les conditions actuelles, une ration de haricots riche en azote est susceptible de produire pour le développement de la force chez le cheval, un effet au plus égal, mais non supérieur à celui de l'avoine seule, de bonne qualité.

L'azote dosé dans l'urine s'élève en moyenne à 174gr,94 d'une part et à 173gr,15 de l'autre ; la proportion de cet élément qui a été assimilé, donne comme moyenne des deux périodes 174gr,6.

TABLEAU.

	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
			Période III a.			
Nourriture: 6 kilogr. foin	4902,60	4547,16	578,02	189,73	1350,67	2428,78
1 kilogr. paille	826,40	773,10	29,59	15,70	403,86	223,95
2kg,5 avoine	2177,75	2088,03	276,81	128,92	260,67	1421,63
2kg,5 pois	2133,00	2061,76	631,15	36,90	173,63	1220,08
Total	10039,75	9470,05	1515,57	371,25	2188,83	5394,41
Excréments	4251,18	3835,84	432,35	289,08	1477,93	1667,74
			Période III b.			
Nourriture: 6 kilogr. foin	4970,40	4610,05	586,01	192,35	1369,35	2462,34
1 kilogr. paille	842,40	788,06	30,16	16,00	411,68	330,22
2kg,5 avoine	2138,00	2049,91	271,74	126,57	255,92	1395,68
2kg,5 pois	2080,20	2010,72	615,53	35,99	169,33	1189,87
Total	10021,00	9458,74	1503,44	370,91	2206,28	5278,11
Excréments	4138,80	3741,89	418,14	283,92	1456,44	1583,09
			Période V.			
Nourriture: 6 kilogr. foin	5118,00	4774,47	606,95	192,22	1418,28	2550,32
1 kilogr. paille	831,60	806,03	30,85	16,37	421,06	337,75
2kg,5 avoine	2174,25	2081,67	276,35	128,71	260,26	1419,35
2kg,5 pois	2075,25	2005,94	614,07	35,90	168,93	1187,04
Total	10259,10	9671,41	1528,22	380,57	2268,53	5494,16
Excréments	4176,18	3774,43	401,75	422,63	1181,71	1581,52

De la différence entre les rations alimentaires et les excréments, on déduit pour les matières assimilées :

	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.
Période III *a*	5788,52	5634,21	1083,22	82,17	740,88	3726,67
— III *b*	5882,20	5716,85	1085,00	86,99	749,84	3795,02
— V	6082,92	5896,98	1105,59	91,63	786,82	3912,94
Moyenne	5917,88	5749,35	1091,27	86,93	759,18	3811,54
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Période III *a*	57.65	59.49	71.47	22.12	33.85	69.08
— III *b*	58.70	60.44	72.17	23.45	33.99	70.05
— V	59.29	60.97	72.34	24.10	34.69	71.22
Moyenne	58.55	60.30	71.99	23.22	34.18	70.12

On déduit pour les coefficients de digestibilité et pour la totalité des matières nutritives :

	COEFFICIENTS.	MATIÈRES nutritives.
		Gr.
Période III *a*	1083,22 : 4668,05 = 1 : 4,31	5751,27
— III *b*	1085,00 : 4757,12 = 1 : 4,38	5842,26
— V	1105,59 : 4923,31 = 1 : 4,45	6028,93
Moyenne	1091,27 : 4782,84 = 1 : 4,38	5873,11
Période II	812,83 : 5043,10 = 1 : 6,20	6856,23

Comme on le voit, la moyenne des quantités totales de matières nutritives correspondant aux périodes III et V, concorde, à peu de chose près, avec le nombre trouvé dans la période II, pour des travaux de même valeur. On en peut conclure que, pour le développement de la force, une ration riche en azote ne produit pas d'effet plus avantageux qu'une ration pauvre en cet élément, pourvu qu'on trouve dans cette dernière le minimum d'albumine absolument nécessaire. Au-dessus de ce minimum, l'albumine, par suite de son assimilation dans l'organisme animal, ne saurait engendrer plus de force utilisable pour produire du travail mécanique qu'un poids égal d'amidon pur, ou qu'une quantité équivalente de matières nutritives pauvres en azote.

Période IV

Pour accroître autant que possible l'effet nutritif des aliments riches en azote, on augmente la teneur en graisse de la ration, en lui ajoutant $0^{kg},750$ de graines de lin pulvérisées, et en réduisant en même temps la teneur en haricots de $2^{kg},5$ à $2^{kg},0$. Pour le reste, cette ration était identique à celle de la période III. De faibles variations dans le travail accompli entraînèrent des oscillations assez sensibles dans le poids vif du cheval. Avec 600 tours de manège, ce poids paraissait s'élever lentement ; mais pour 650 tours il diminuait très nettement. La puissance de travail de l'animal peut donc être évaluée d'après cela à 625 tours de manège, qui correspondent à 1 665 300 kilogrm.

		MATIÈRE sèche.	MATIÈRE organique.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.
Nourriture	6 kilogr. foin	5103,00	4733,03	601,64	197,48	1405,88	2528,03
	1 kilogr. paille	857,80	802,47	30,71	16,30	419,20	336,25
	$2^{kg},5$ avoine	2146,25	2057,82	272,79	127,06	256,91	1401,07
	2 kilogr. pois	1631,80	1580,20	483,71	28,28	133,07	935,11
	$0^{kg},75$ graines de lin	683,77	641,79	181,95	219,37	181,95	177,79
Total		10125,62	9815,31	1570,83	618,49	2217,74	5378,26
Excréments		4211,20	3834,89	442,78	382,13	1154,73	1555,25
Matières assimilées		6184,52	5980,42	1128,05	236,36	793,01	3823,01
Taux p. 100		59.32	60.93	71.81	38.21	35.28	71.08

La totalité des matières nutritives assimilées s'élève d'après cela à 6 320gr,79 (rapport nutritif 1 : 4,61) et surpasse ainsi de 447gr,61 la moyenne des périodes III et V. L'excédent de travail exécuté (1 666 700-1 600 000) 66 700 kilogrm. est, au contraire, proportionnellement très faible. En admettant que 100 grammes de matière nutritive correspondent à 85 400 kilogrm., l'excédent de travail ci-dessus devrait s'élever presque à 400 000 kilogrm. Cet effet de l'addition des graines de lin à la ration alimentaire, surprenant par sa faible valeur, reste provisoirement inexpliqué.

Périodes VI et VII

Ces deux séries d'expériences font connaître l'effet du maïs. Les haricots (périodes III et V) furent remplacés par 2kg,5 de maïs ; dans la période VI les grains étaient secs et non écrasés ; ils avaient été gonflés avec leur poids d'eau, avant leur emploi dans la période VII. Avec 600 tours de manège par jour, le poids vif s'éleva de 472 à 479 kilogr. ; mais après que le nombre de tours eut été porté à 700, l'abaissement du poids vif fut si lent, que ce dernier travail peut être considéré comme étant à très peu de chose près l'équivalent de la nourriture absorbée.

L'azote dosé dans l'urine ne dépassait pas 119gr,59 pour 700 tours de manège (période VI B), tandis que l'azote assimilé s'élevait à 123gr,26. On rencontre donc ici, pour la première fois, une différence de 3gr,67 entre les deux taux d'azote. Les auteurs croient, d'après cela, qu'un travail de 725 à 750 tours de manège correspondrait mieux à la capacité de travail de l'animal. (D'après l'opinion du rapporteur, la différence des taux d'azote s'explique bien plus exactement par un déficit inévitable d'azote, comme on l'a toujours constaté dans les expériences ultérieures.)

	MATIÈRE sèche.	MATIÈRE organique.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.
			Période VI a.			
Nourriture: 6 kilogr. foin. . . .	5266,20	4881,10	620,89	203,80	1150,81	2608,87
Nourriture: 1 kilogr. paille . . .	865,10	809,30	30,97	16,44	422,78	339,11
Nourriture: 2kg,5 avoine.	2187,75	2097,61	278,06	129,51	261,87	1428,17
Nourriture: 2kg,5 maïs.	2222,00	2188,80	261,31	94,44	37,10	1795,15
Total.	10541,05	9979,31	1191,23	444,19	2172,59	6171,30
Excréments.	4035,57	3618,16	433,02	294,60	1419,31	1501,23
			Période VI b.			
Nourriture totale. . . .	10541,05	9979,31	1191,23	444,19	2172,59	6171,30
Excréments.	4007,53	3603,97	421,59	281,91	1374,98	1522,46
			Période VII.			
Nourriture: 6 kilogr. foin	4906,40	4551,07	587,91	187,95	1342,67	2435,54
Nourriture: 1 kilogr. paille . . .	857,20	801,91	30,69	16,29	418,91	336,02
Nourriture: 2kg,5 avoine.	2175,75	2086,11	276,54	128,80	260,44	1420,33
Nourriture: 2kg,5 maïs.	2209,50	2175,20	259,78	93,88	36,89	1784,65
Total.	10149,85	9617,29	1154,92	426,92	2058,91	5976,54
Excréments.	3860,17	3476,86	384,47	277,16	1307,05	1508,17

De la différence entre la ration alimentaire et les excréments, on déduit pour les matières assimilées les nombres suivants :

	MATIÈRE sèche.	MATIÈRE organique.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Période VI *a*. . . .	6505,48	6331,15	758,21	149,59	753,28	4670,07
— VI *b*. . . .	6533,52	6375,34	769,64	159,25	797,61	4648,84
Moyenne. . .	6519,50	6353,25	763,93	154,42	775,45	4659,46
Période VII.	6289,68	6140,43	770,45	149,76	751,86	4468,37
Moyenne. . .	6404,50	6246,84	767,19	152,09	763,66	4563,92
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Période VI *a*	61.72	63.44	63.65	33.68	34.67	75.67
— VI *b*	61.98	63.88	64.61	35.85	36.71	75.33
Moyenne . . .	61.85	63.66	64.13	34.77	35.69	75.50
Période VII.	61.97	63.84	66.71	35.08	36.52	74.76
Moyenne . . .	61.91	63.75	65.42	34.93	36.11	75.13

Il est facile de voir qu'ici comme plus haut, l'imbibition du maïs, période VII n'a produit aucun accroissement dans la valeur des coefficients de digestibilité.

La totalité des matières nutritives s'élève à 6 356 grammes (pour la période VII seulement), le coefficient nutritif est 1 : 7,25. Le travail de 700 tours de manège exige 2 184 grammes de matières nutritives; de telle sorte qu'il en reste 4 172 grammes pour le maintien du poids vif de l'animal ; ce dernier nombre est un peu supérieur à celui qu'ont fourni les autres expériences avec le même cheval.

Période VIII

La ration alimentaire se composait uniquement de 7 kilogr. de foin et 5 kilogr. d'avoine. Avec 700 tours de manège, le poids vif diminua rapidement, mais avec 600 tours, il devint sensiblement constant (4/6 juillet 472kg,5, 19/21 juillet 472kg,7). L'azote dosé dans l'urine tomba de 133gr,24 (moyenne du 8 au 11 juillet) à 129gr,74 (moyenne du 13 au 17 juillet). Comme l'azote assimilé s'élevait à 140gr,97, les auteurs du travail ont admis, avec juste raison, que 650 tours de manège environ correspondent exactement à la totalité des matières nutritives.

	MATIÈRE sèche.	MATIÈRE organique.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.
Nourriture { 7 kilogr. foin .	6066,20	5629,43	726,73	232,33	1659,71	3010,66
Nourriture { 5 kilogr. avoine	4739,00	4198,59	556,57	259,24	524,17	2858,61
Total.	10145,20	9828,02	1283,30	491,57	2183,88	5869,27
Excréments	4375,85	3925,58	402,14	339,15	1405,52	1778,78
Matières digérées.	6069,35	5902,44	881,16	152,42	778,36	4090,49
Taux p. 100	58.11	60.06	69.66	31.01	35.64	69.69

D'après cela, le coefficient digestif est 1 : 5,94 ; la totalité des matières nutritives s'élève à 6 121.92 ; comme 650 tours de manège équivalent à 2 028 grammes de matières nutritives, 4 094 grammes de ces matières ont été employés à maintenir le poids moyen du cheval.

Voici maintenant le résumé des expériences, au moyen desquelles la valeur du travail correspondant à la totalité des matières nutritives assimilées a pu être déterminée avec une assez grande approximation.

Rations journalières en kilogrammes.

	FOIN.	PAILLE.	AVOINE.	POIS.	MAÏS.
Période I.	6	»	5	»	»
— II	6	1	5	»	»
— III et V.	6	1	2.5	2.5	»
— VII.	6	1	2.5	»	2.5
— VIII	7	»	5	»	»

	TRAVAIL JOURNALIER.		ÉQUIVALENT en matières nutritives.	MATIÈRES nutritives dans les rations.	RESTE pour l'entretien du cheval.
	Tours de manège.	en kilogrammètres			
			Gr.	Gr.	Gr.
Période I	525	1 400 000	1634	5568	3934
— II.	600	1 599 000	1872	5856	3981
— III et V. . .	600	1 599 000	1872	5873	4001
— VII	725	1 932 100	2262	6356	4094
— VIII. . . .	650	1 732 250	2028	6122	4094

Les principales conséquences que les auteurs tirent de leurs expériences sont les suivantes :

1. Pour la production de force chez le cheval, toute l'albumine assimilable contenue dans la ration alimentaire qui dépasse un certain poids minimum n'a pas plus de valeur qu'un poids égal d'amidon, ou que des quantités d'extractifs non azotés assimilables et de graisses correspondantes à leur équivalent en amidon.

2. On arrive à des résultats identiques en nourrissant des chevaux sains et pourvus de bonnes mâchoires, avec des haricots comme avec du maïs ; on peut d'ailleurs employer ces matières alimentaires en grains, à l'état sec ou préalablement gonflés au moyen de l'eau, pourvu que l'imbibition ne leur fasse subir aucune perte.

3. La quantité de matières nutritives nécessaires pour conserver

au cheval son poids vif moyen de 500 kilogr., lorsqu'il n'exécute aucun travail mécanique, est en moyenne de 4 200 grammes par jour ; une notable partie, en moyenne la moitié au moins de la ration journalière, se compose de fourrage et spécialement de foin.

Période IX

Dans cette période, qui a clos la série des expériences, la ration alimentaire était composée uniquement de 12 kilogr. de foin. Le travail journalier fut limité à 400 tours de manège. Tout d'abord, le poids vif s'éleva notablement, mais ensuite, du 27 juillet au 10 août, il se maintint très constant au voisinage de 477 kilogr. L'azote dosé dans l'urine s'élevait en moyennne à 117gr,84, et d'azote assimilé à 118gr,97.

	MATIÈRE sèche.	MATIÈRE organique.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.
12 kilogr. foin. . . .	10365,60	9656,59	1258,38	401,15	2828,77	5168,29
Excréments.	4555,86	4109,84	514,81	360,37	1640,53	1594,10
Matières digérées. .	5809,75	5546,75	743,57	40,78	1188,21	3574,19
Taux p. 100.	56.05	57.44	59.09	10.17	42.00	69.16

La totalité des matières nutritives s'élève à 5 605gr,40, et le travail de 400 tours de manège, c'est-à-dire 1 066 000 kilogrm., correspond à 1 248 grammes de ces matières. Il en resterait donc pour l'entretien de l'animal au repos complet 4 357 grammes, c'est-à-dire un nombre notablement plus élevé que dans les expériences précédentes, exécutées avec une nourriture mixte. Les auteurs du présent mémoire expliquent cette différence par le fait de la forte teneur du fourrage en cellulose, laquelle ne doit avoir aucune valeur pour l'alimentation du cheval. On trouvera de nouveaux renseignements à ce sujet dans les nouvelles expériences rapportées plus loin.

Enfin, pour l'avoine employée seule comme ration alimentaire, on peut calculer les coefficients d'assimilabilité, en se servant des coefficients de même nature obtenus dans les périodes I et VIII (foin plus

avoine), et dans la période IX (foin) ; on arrive ainsi aux moyennes ci-dessous :

MATIÈRE sèche.	MATIÈRE organique.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.
62gr,86	65gr,10	82gr,39	51gr,01	16gr,80	72gr,34

Teneur des excréments et de l'urine en cendres et en matières minérales.

Les nombres du tableau suivant expriment les proportions en centièmes des matières minérales contenues dans les excréments et dans les urines par rapport aux matières de même nom contenues dans la ration alimentaire totale.

	CENDRES.	ALCALIS.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE phosphorique.	ACIDE sulfurique.	SILICE.	CHLORE.
Période I. Ration : 6 kilogr. de foin + 5 kilogr. d'avoine.								
Excréments	64.21	32.00	38.77	61.01	100.26	15.30	99.03	5.37
Urine	35.40	70.20	61.51	37.34	»	84.70	0.97	94.63
	99.61	102.20	100.28	98.35	100.26	100.00	100.00	100.00
Période II. Ration : 6 kilogr. de foin + 5 kilogr. de paille + 5 kilogr. d'avoine.								
Excréments	65.36	31.24	40.59	61.84	102.39	13.54	99.26	7.17
Urine	34.74	66.80	61.84	36.72	»	86.46	0.74	92.83
	100.10	98.04	102.63	98.56	102.39	100.00	100.00	100.00
Période III a. Ration: 6 kilogr. de foin + 1 kilogr. de paille + 2kg,5 d'avoine + 2kg,5 de pois.								
Excréments	63.31	30.04	42.96	61.58	102.24	11.95	99.09	4.84
Urine	38.41	67.14	57.40	35.96	»	88.05	0.91	95.16
	101.72	97.18	100.36	96.84	102.24	100.00	100.00	100.00
Période IV a. Ration: 6 kilogr. de foin + 1 kilogr. de paille + 2kg,5 d'avoine + 2kg.5 de maïs.								
Excréments	62.52	37.30	35.36	59.24	98.52	19.22	96.06	4.88
Urine	37.35	66.17	57.50	33.72	1.24	80.78	0.78	95.12
	99.87	103.47	92.86	92 96	99.76	100.00	96.84	100.00
Période IX. Ration : 12 kilogr. de foin.								
Excréments	53.97	26.47	26.41	49.70	94.06	30.30	1.00 ?	4.82

Ces nombres conduisent aux conclusions suivantes :

1. Comme on l'a déjà vu pour l'azote, on peut constater que, pour la totalité des cendres comme pour les différentes matières minérales, il y a partout égalité presque complète entre l'absorption et l'élimination.

2. Ces recherches nouvelles confirment des résultats déjà obtenus antérieurement, savoir :

a) Avec l'urine du cheval s'élimine une proportion de chaux extraordinairement forte (60 p. 100), dont une très notable partie se trouve à l'état de carbonate de chaux. (Trouble de l'urine.)

b) L'urine du cheval, comme celle des ruminants, ne contient que 1/3, au plus 2/5, de la quantité de magnésie que renferme la ration alimentaire totale.

c) La proportion assez élevée des alcalis contenus dans les excréments du cheval mérite d'être notée ; elle s'élève à environ 30 p. 100 de la totalité des alcalis contenus dans la ration alimentaire. (Moutons, environ 5 p. 100 ; bœufs, 10 à 12 p. 100).

d) Les acides phosphorique et silicique s'éliminent du corps de tous les herbivores exclusivement par les excréments.

e) Chez les chevaux comme chez les ruminants, la presque totalité du chlore s'élimine par l'urine (environ 95 p. 100).

L'acide sulfurique se trouve en proportion assez notable dans les excréments, et cette proportion est d'autant plus élevée que la ration journalière est plus riche en matières fourragères.

3. Le poids d'urine qu'un cheval excrète en un jour, pour des conditions extérieures à peu près semblables, est déterminée d'une part par la teneur de l'alimentation en azote assimilable, d'autre part par la quantité des sels minéraux qui s'éliminent par l'urine. L'azote et les matières minérales se remplacent mutuellement en quelque sorte pour produire une concentration déterminée et assez constante de l'urine, pourvu que la quantité journalière de ration de fourrage ne varie pas trop et surtout ne descende pas au-dessous d'une certaine limite. C'est ce que montre le tableau suivant :

	URINE par jour.	AZOTE dans l'urine.	MATIÈRES minérales dans l'urine.	MATIÈRES minérales et azote.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Période I.	7 903	1.56	2.214	2.771
— II	8 033	1.61	2.405	3.015
— III *a*	9 661	1.80	2.145	2.945
— VI *a*	7 952	1.45	2.461	2.915
— IX	10 672	1.104	2.834	2.938

4. Dans les recherches qui viennent d'être rapportées, une variation dans les doses d'avoine, de haricots et de maïs n'a produit aucune variation importante soit sur la totalité des matières minérales éliminées, soit sur le poids de chacune d'elles en particulier.

INFLUENCE DE LA NATURE DU TRAVAIL SUR LA DIGESTION CHEZ LE CHEVAL. — EFFETS COMPARATIFS DU FOURRAGE ET DES ALIMENTS CONCENTRÉS (AVOINE, FÉVEROLES, MAÏS, ETC.) SUR LA CAPACITÉ DU TRAVAIL DE CET ANIMAL.

En 1880, L. Grandeau fut chargé par la Compagnie générale des voitures à Paris d'installer une station en vue de faire des recherches précises sur l'alimentation du cheval. Le but de ces recherches, dont l'exécution fut confiée à A. Leclerc, était de soumettre à des épreuves scientifiques rigoureuses *une ration alimentaire déterminée, ayant déjà été essayée sur les chevaux de la Compagnie des omnibus et des voitures.*

Les premières expériences eurent pour objet de déterminer l'influence de la nature et de la grandeur du travail sur la quantité de nourriture digérée. Trois chevaux, de 400 à 450 kilogr. chacun, et d'un tempérament assez vif en apparence, furent choisis pour ces recherches. Chacun d'eux fut, alternativement, maintenu au repos presque complet, occupé à tirer au manège une charge déterminée (période de travail), et enfin assujetti à suivre simplement le bras

1. *Central-Blatt für Agrikulturchemie,* 1888, p. 241.
2. *Central-Blatt für Agrikulturchemie,* 1888, p. 299.

du manège, auquel cas il n'avait que son propre corps à mettre en mouvement (période de mouvement). Le travail était exécuté soit au pas, soit au trot. Le chemin parcouru par le cheval en un jour, étant attelé au manège, s'élevait à 18-21 kilom., et la traction atteignait 20-21 kilos. Pendant les périodes de repos, les chevaux étaient assujettis à faire chaque jour, pendant une heure, d'un pas modéré, un parcours de 4 kilom. Les différents travaux accomplis en un jour sont représentés par les nombres suivants (les dépenses de force, au trot et au pas, sont calculées avec la même formule) :

	AU PAS.	AU TROT.
Période de repos	100 000 kgrm. (exactement 99 320)	»
— de mouvement. .	570 000 —	1 100 000 kgrm.
— de travail. . . .	1 000 000 —	1 600 000 —

Les méthodes employées pour l'analyse de la ration alimentaire et des excréments solides diffèrent notablement des méthodes usitées en Allemagne, principalement pour l'évaluation de la cellulose brute et des extractifs non azotés ; ces derniers ont été subdivisés en glucose, amidon et matières inconnues.

Le glucose a été évalué en chauffant à 108° environ la substance avec de l'acide sulfurique à 2 p. 100 ; la cellulose, en chauffant le résidu avec une lessive de potasse à 5 p. 100. La teneur ainsi obtenue pour la cellulose devait naturellement être inférieure à celle que l'on obtient par la « méthode de Weende » usitée en Allemagne. La teneur en graisse des différentes matières alimentaires a été également évaluée très bas (notamment pour le foin, l'avoine et le maïs) ; c'est ce que montre le tableau suivant :

	EAU.	CENDRES.	PROTÉINE brute.	GRAISSE.	CELLULOSE.	GLUCOSE.	AMIDON.	INCONNUS.	EXTRACTIFS non azotés.
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Foin	15.12	7.08	7.76	1.27	21.00	1.09	17.82	28.86	17.77
Paille.	16.44	4.18	2.48	1.23	27.51	0.46	20.35	27.35	48.16
Avoine.	15.03	3.57	8.62	3.86	8.21	1.61	46.95	12.69	60.68
Féveroles.	11.35	3.40	29.95	1.50	5.55	2.23	44.13	1.89	48.25
Tourteaux de maïs .	13.23	2.62	17.24	7.55	4.20	0.48	53.46	1.23	50.17
Maïs	14.35	1.74	9.39	1.80	1.80	1.59	61.15	5.18	70.97

La ration alimentaire, identique dans toutes les expériences, était d'une digestibilité relative facile et d'une puissance nutritive intensive. Elle se composait de 28 p. 100 de fourrages bruts (18.2 p. 100 de foin, 9.8 p. 100 de paille) et de 72 p. 100 d'aliments concentrés (avoine, féveroles, maïs et tourteaux de maïs). Voici les principales moyennes obtenues pour les coefficients de digestibilité :

	NUMÉROS des expériences.	SUBSTANCE organique.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE.	AMIDON.	INCONNUS.	EXTRACTIFS non azotés.
En moyenne pour les trois chevaux.								
Repos	21	71.89	73.73	58.01	45.71	87.07	30.72	76.86
Mouvement au pas	3	72.25	73.91	59.43	41.05	84.06	51.81	77.46
Travail au pas	3	70.10	71.93	61.76	39.48	83.02	49.73	75.10
Mouvement au trot	3	69.09	68.70	52.77	39.50	86.59	36.41	75.50
Travail au trot	6	66.60	66.79	55.49	33.05	85.26	30.71	72.95

Il résulte de ces nombres qu'en général le travail entraîne une dépression du coefficient de digestibilité qui dépend de la nature du mouvement, et qui s'accentue surtout pendant le galop. Cette dépression est considérable pour la protéine brute et la cellulose. Or, ces résultats sont en contradiction avec l'opinion jusqu'ici généralement admise qu'un travail de grandeur moyenne, non exagéré, favorise spécialement la digestion, ou du moins ne produit sous ce rapport aucun effet inférieur au repos complet. Des expériences exécutées à Hohenheim ont, en effet, démontré qu'un travail de 67 000 kilogrm. pouvait être doublé ou triplé sans entraîner aucune dépression sensible du coefficient de digestibilité [1].

De nouvelles expériences ont été exécutées à Hohenheim dans le but de résoudre cette question ; dans chacune d'elles le nombre de kilogrammètres représentant le travail effectué au manège demeurait sensiblement constant, mais le temps nécessaire à l'exécution de ce travail variait d'une expérience à l'autre selon la grandeur de la traction.

1. *Grundlagen, etc.* (Berlin, 1885), p. 17.

Période I

Après de longues recherches préliminaires pour établir l'équilibre entre la nourriture et le travail, la ration alimentaire fut fixée à 7 kilogr. de foin de prairie et 5^k,5 d'avoine ; le travail à 1 000 tours de manège pour une traction de 40 kilogr. — Ce travail était effectué, en moyenne, en 8 heures et 35 minutes. Le poids vif moyen du cheval diminua tout d'abord quelque peu, puis il se maintint, pendant 22 jours consécutifs, presque toujours à 478 kilogr. — On a dosé dans l'urine 123^{gr},64 d'azote, tandis que 133^{gr},82 du même élément ont été absorbés par la nourriture. Les expérimentateurs attribuent la différence entre ces deux nombres (10^{gr},18 d'azote) à une nouvelle production de poils et de substances cornées, et à des erreurs inévitables dans l'expérimentation.

	SUBSTANCE sèche.	CENDRES brutes.	SUBSTANCE organique.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
				Période I a.			
Nourriture. 7 kilogr. foin .	5959,10	525,00	5434,10	687,78	163,18	1798,45	2784,69
Nourriture. 5^{kg},5 avoine .	4697,55	167,70	4529,85	628,06	257,43	549,62	3094,73
Total.	10656,65	692,70	9963,95	1315,84	420,61	2348,07	5879,42
Excréments solides	4644,46	514,14	4130,32	477,45	246,16	1492,26	1914,45
Matières assimilées.	6012,19	178,56	5853,63	838,39	174,45	855,81	3904,97
				Période I b.			
Nourriture. 7 kilogr. foin .	5890,50	518,96	5371,54	693,31	160,91	1777,75	2739,67
Nourriture. 5^{kg},5 avoine. .	4697,55	167,70	4529,85	628,06	257,43	549,62	3094,73
Total.	10598,05	686,63	9901,39	1321,37	418,24	2327,37	5834,40
Excréments solides.	4750,12	493,54	4256,98	486,89	250,33	1576,09	1943,25
Matières assimilées	5846,93	193,12	5644,41	831,38	167,91	751,28	3891,15
			Proportions en centièmes des matières assimilées.				
Période I *a*	56.42	25.78	58.55	63.71	41.47	36.44	67.44
— I *b*	55.18	28.13	57.01	63.12	40.15	32.27	66.69
Moyennes. . . .	56.30	26.93	57.78	63.42	40.81	34 36	67.07

En calculant, d'après la méthode déjà indiquée, la totalité des matières nutritives contenues dans la ration alimentaire, on trouve, comme moyenne des périodes I *a* et I *b*, 5 978^{gr},82 ; le rapport nutritif est 1 : 6,16.

Comme d'après les premières expériences, 85 400 kilogr.=100 gr. de matières nutritives, le travail journalier, qui s'élève à 1 703 631 kilogrm., équivaut à 1 995 gr. de ces mêmes matières ; de sorte qu'il en reste (5 979—1 995) 3 984 gr. pour l'entretien du cheval.

Période II

La ration alimentaire était la même que dans la période I ; mais un changement fut apporté au travail journalier : la traction fut élevée à 60 kilogr., et le nombre de tours de manège abaissé à 750 [1]. Le poids vivant du cheval n'a subi, par ce fait, aucun changement sensible (2-4 février 477^{k},8, 17-19 février 478^{k},2). Azote dans l'urine: 129^{gr},79 ; azote digéré : 131^{gr},10 ; différence : 1^{gr},31.

	SUBSTANCE sèche.	CENDRES brutes.	SUBSTANCE organique.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Période II a.							
Nourriture. { 7 kilogr. foin .	5954,90	521,05	5433,85	688,39	205,44	1785,88	2754,14
Nourriture. { 5^{kg},5 avoine. .	4697,54	167,70	4529,85	628,06	257,43	549,62	3094,73
Total.	10652,45	688,75	9963,70	1316,45	462,87	2335,50	5848,87
Excréments	4720,16	481,76	4235,40	500,34	265,27	1519,89	1949,90
Matières digérées	5932,29	203,99	5728,30	816,11	197,60	815,61	3898,97
Période II b.							
Nourriture totale.	10652,45	688,75	9963,70	1316,45	462,87	2335,50	5848,87
Excréments	4841,00	511,21	4329,79	493,78	274,97	1537,50	2023,54
Matières digérées	5811,45	177,54	5633,91	822,67	187,88	798,00	3825,33
Proportions en centièmes des matières digérées.							
Période II *a*.	55.69	29.22	57.49	62.00	42.69	34.92	66.26
— II *b*.	54.56	24.33	56.55	62.49	40.59	34.16	65.40
Moyennes.	55.13	26.98	57.02	62.25	41.64	34.54	66.03

1. Au début 700.

On en déduit pour la somme moyenne des substances nutritives 5 951gr,03, et pour le rapport nutritif, 1 : 6,27. Le travail atteint 1 700 740 kilogrm., de sorte qu'il reste (5 951—1 991) 4 142 gr. de substances nutritives pour le maintien du cheval dans son état moyen d'entretien. Tous ces nombres concordent assez bien avec ceux de la période I.

Période III

Dans cette période, le cheval a pu effectuer 600 tours de manège, avec une traction de 80 kilogr., sans diminuer de poids ; le travail aurait peut-être même pu être porté à 625 tours de manège. La différence entre l'azote absorbé (129gr,91) et l'azote éliminé par l'urine (123gr,23) s'est élevée à 6gr,68.

	SUBSTANCE sèche.	CENDRES brutes.	SUBSTANCE organique.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Période III a.							
Nourriture. 7 kilogr. foin.	5835,90	510,61	5325,56	674,63	201,34	1750,19	2699,10
Nourriture. 5kg,5 avoine .	4697,53	167,70	4529,85	628,06	257,43	549,62	3094,73
Total	10533,45	678,31	9855,11	1302,69	458,77	2299,81	5793,83
Excréments	4 57,30	515,57	4141,74	487,15	263,60	1472,17	1918,81
Matières digérées	5876,15	162,77	5713,39	815,54	195,17	827,64	3875,02
Période III b.							
Nourriture. 7 kilogr. foin.	5999,70	524,97	5474,73	693,57	206,99	1799,31	2774,86
Nourriture. 5kg,5 avoine. .	4697,55	167,70	4529,85	628,06	257,12	549,62	3094,73
Total.	10697,25	692,67	10004,58	1321,63	464,12	2348,93	5869,59
Excréments	4778,80	497,47	4281,33	513,24	267,14	1497,20	2003,75
Matières digérées	5916,45	195,20	5723,25	808,39	197,28	851,73	3865,84
Proportions en centièmes des matières digérées.							
Période III *a*	55.78	24.00	57.97	62.60	42.54	35.99	66.88
— III *b*	55.33	28.18	57.21	61.17	42.48	36.26	65.86
Moyennes . . .	55.56	28.09	57.59	61.89	42.51	36.13	66.37

On en déduit pour la totalité des matières nutritives, en moyenne, 5993gr,02, et pour le coefficient nutritif 1 : 6,38. Le travail, évalué à 1 672 905 kilogrm., correspond à 1 959 gr. de substances nutritives, de sorte qu'il reste 4 034 gr. de ces matières pour maintenir le cheval dans son état moyen d'entretien.

L'ensemble des nombres contenus dans les tableaux précédents montre qu'il y a concordance absolue entre les coefficients de digestibilité obtenus, pour la ration totale ou pour ses parties constituantes, dans chacune des trois périodes d'expériences. Il en résulte que l'exécution d'un travail déterminé, pendant des intervalles de temps variables avec la grandeur de la traction, n'a aucune influence sensible sur la digestion du cheval.

Ce résultat ne concerne toutefois que le travail exécuté au pas calme et régulier; les expériences faites à Paris n'accusent, dans les mêmes conditions, aucune dépression de la digestion; au contraire, pour une allure accélérée, notamment en ce qui concerne le mouvement du cheval au trot, aussi bien avec que sans traction au manège, ces mêmes expériences accusent une dépression de digestion beaucoup plus grande que dans le mouvement au pas. Au point de vue de la mesure des rations destinées à des chevaux employés à différents usages, ce résultat mérite d'être pris en considération.

Des expériences précédentes, on peut encore déduire le tableau suivant :

	TOURS du manège.	VALEUR de la traction.	LONGUEUR du chemin.	DURÉE du travail.	VALEUR du travail.	TRAVAIL par seconde.
			Mètres.	Min.	Kgrm.	Kgrm.
Période I.	1000	40	26,390	515,2	1 703 631	55,1
— II	750	60	19,793	396,1	1 700 740	71,6
— III.	600	80	15,834	354,3	1 672 905	78,7

Avec une ration alimentaire constante en qualité et en quantité, un travail journalier, compris entre certaines limites, exécuté en des temps inégaux, avec une traction variable au manège, n'entraîne

donc aucune variation sensible dans la capacité de travail du cheval. Son état d'entretien était resté sensiblement constant.

Les quantités de substances nutritives nécessaires pour maintenir le cheval en expérience dans son état moyen d'entretien, 475 kilogr., méritent une mention spéciale. Voici les nombres qui se rapportent à l'intervalle de temps compris entre la fin de décembre 1886 et la fin de mars 1887 :

	SUBSTANCES nutritives totales.	SUBSTANCES nutritives pour le travail.	DIFFÉRENCES.
	Gr.	Gr.	Gr.
Période I.	5 977	1 995	3 982
— II.	5 951	1 991	3 960
— III	5 993	1 959	4 034
Moyennes. . . .	5 974	1 982	3 992

Pour maintenir l'animal au poids vif moyen de 500 kilogr., il faut, d'après cela, 4194 gr. de substance nutritive. Ce nombre concorde presque exactement avec ceux des anciennes expériences (1885-1886 : 4230 gr., 1884-1885 : 4158 gr.).

Dans les expériences faites à Paris, auxquelles on a déjà souvent fait allusion, le poids de matières nutritives nécessaires à la conservation de l'état moyen d'entretien du cheval a été trouvé notablement plus faible. Dans 12 expériences faites avec les trois chevaux, on a d'abord constaté que sur 10 cas, la ration avait déterminé une augmentation de poids. En conséquence, dans la suite des recherches faites avec deux chevaux seulement, chacun des facteurs de la ration précédente fut diminué d'un dixième. Les compositions des deux rations sont contenues dans le tableau suivant :

	RATION FORTE.	RATION FAIBLE.
Foin de prairie.	$1^{kg},044$	$0^{kg},940$
Paille d'avoine	0 ,564	0 ,580
Avoine	1 ,968	1 ,772
Féveroles	0 ,420	0 ,380
Maïs	1 ,452	1 ,308
Tourteaux de maïs.	0 ,288	0 ,260

L'effet de la ration faible sur le poids vif du cheval se trouve représenté par les nombres suivants :

AVANT LA PESÉE.	CHEVAL N° II.		CHEVAL N° III.			
	Repos.	Repos.	Repos.	Repos.	Travail.	Repos.
Durée de la période	24 juin au 18 juillet 1882.	19 juillet au 12 août 1882.	6-28 février 1882.	1er-31 mars 1882.	24 juin au 18 juillet 1882.	19 juillet au 12 août 1882.
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Poids moyen du 1er au 3e jour.	407,6	413,5	451,8	451,5	427,0	427,5
— 4e au 6e jour.	407,4	413,2	451,0	456,3	424,1	426,5
— 7e au 9e jour.	408,3	412,6	452,1	456,4	426,4	429,7
— 10 au 12e jour.	410,7	413,1	449,5	457,2	425,1	426,1
— 13 au 15e jour.	409,7	411,8	452,9	459,4	422,9	429,8
— 16e au 18e jour.	409,7	412,3	456,0	458,8	427,9	428,8
— 19e au 21e jour.	411,9	410,8	455,6	460,4	426,8	430,4
— 22e au 24e jour.	410,9	409,5	456,2	459,6	426,1	429,8
— 25e au 27e jour.	413,1	412,4	»	457,7	»	429,4
— 28e au 30e jour.	»	»	»	458,9	»	»

On voit très clairement que la ration faible elle-même était amplement suffisante pour assurer aux deux chevaux la constance de leur poids vif; il ne saurait donc être question ici d'une diminution de leur état d'entretien.

Par l'analyse des différents facteurs de la ration et des échantillons d'excréments, on a trouvé pour les matières nutritives digérées :

CHEVAL N° II.

Juillet 1882. .	3 036gr,56	= 1 : 7,04
Août — . .	3 082 ,67	= 1 : 7,34
Moyennes. .	3 059gr,67	= 1 : 7,19

CHEVAL N° III.

Février 1882. .	3 389gr,29	= 1 : 6,87
Mars — . .	3 350 ,14	= 1 : 6,91
Juillet — . .	3 283 ,17	= 1 : 7,00
Août — . .	3 219 ,02	= 1 : 6.78
Moyennes . .	3 310gr,41	= 1 : 6,89

Mais à cause du travail effectué par les animaux pendant leur promenade journalière (4 kilom.), il faut diminuer chacun de ces nombres d'une certaine quantité qui, d'après les poids des chevaux, peut être évaluée à 108 gr. pour l'un et à 119 gr. pour l'autre (100 gr. = 85400 kilogrm.). Les expériences de Paris conduisent donc, pour les rations d'entretien, aux nombres suivants :

	POIDS.	SUBSTANCES NUTRITIVES.		
	Kilogr.		Gr.	Kilogr. Gr.
Cheval n° I. . . .	411,0	3059,67 — 108	= 2951,67	d'où 500 = 3636
Cheval n° II . . .	441,2	3310,41 — 119	= 3191,41	d'où 500 = 3617
Moyennes . .	426,1	3185,04 — 113,5	= 3071,54	d'où 500 = 3626

Il en résulte que, dans toutes ces expériences, pour maintenir le poids vivant du cheval à l'état constant, pendant le repos complet, il fallait une somme de matières nutritives notablement inférieure à celle qui résulte des nombreuses expériences d'Hohenheim; on a trouvé, en moyenne, à Paris 3 626 gr., et à Hohenheim 4 200 gr. Les expérimentateurs allemands expliquent cette différence par ce fait qu'à Paris les aliments concentrés formaient les trois quarts du poids total de la ration, tandis qu'à Hohenheim, ils n'en formaient que le quart.

Comme complément immédiat des précédentes recherches, les expérimentateurs d'Hohenheim ont cherché à résoudre, par les expériences rapportées ci-après, la question de savoir si la digestion d'une quantité déterminée de substance organique (calculée comme toujours, en tenant compte de l'équivalent nutritif) a toujours la même influence sur la capacité de travail du cheval, selon que cette substance organique provient de fourrages ou d'aliments concentrés.

Périodes IV, V et VI

On a déterminé avec précision dans les périodes I, II et III la capacité de travail du cheval correspondante à une ration alimentaire constante, composée de 7 kilogr. de foin et $5^k,5$ d'avoine. Il s'agit maintenant d'apprécier l'influence produite sur la capacité du travail: 1° par une diminution de la ration de foin (périodes IV et V); 2° par une augmentation de la ration d'avoine coïncidant avec la plus faible ration de foin. Les nombres ci-après montrent suivant quelles proportions s'établit l'équivalence entre les rations alimentaires d'une part, le travail et le poids vivant d'autre part; les oscillations dans le poids vivant doivent être attribuées aux différences dans la composition des rations.

			PÉRIODE IV.	PÉRIODE V.	PÉRIODE VI.
Nourriture.	Foin	Kgr.	5	3	3
	Avoine	Kgr.	5,5	5,5	7
Travail.	Traction	Kgr.	60	60	60
	Tours de manège		550	350	700
	Travail correspondant	Kgrm.	1 266 030	818 240	1 608 200
Poids vivant.	Au début	Kgr.	477,2	472,3	473,5
	A la fin	Kgr.	475,5	470,6	472,3
Azote digéré		Gr.	114,75	100,23	120,72
Azote dans l'urine		Gr.	107,05	92,55	113,78

Le tableau suivant contient tous les nombres conduisant aux coefficients de digestibilité.

	SUBSTANCE sèche.	SUBSTANCE organique.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
Période IV.						
Ration. 5 kilogr. foin	4302,50	3926,03	484,46	148,44	1290,32	2002,81
Ration. 5kg,5 avoine	4765,20	4695,08	637,11	261,13	557,53	3139,31
Total	9067,70	8521,11	1121,57	409,57	1847,85	5142,12
Excréments	3778,79	3359,34	404,33	221,82	1162,36	1570,84
Matières digérées	3258,91	5161,77	717,24	187,75	685,49	3571,28
En centièmes	58.00	60.57	63.95	45.84	37.09	69.45
Période V.						
Ration. 3 kilogr. foin	2573,10	2347,95	289,73	88.78	771,67	1197,77
Ration. 5kg,5 avoine	4783,90	4613,12	639,61	262,16	559,72	3151,63
Total	7357,00	6961,07	929,34	360,94	1331,39	4349,40
Excréments	3004,78	2658,63	302,88	166,16	908,65	1280,04
Matières digérées	4352,22	4302,44	626,46	184,78	422,74	3068,46
En centièmes	59.16	61.81	67.41	52.62	31.75	70.55
Période VI a.						
Ration. 3 kilogr. foin	2522,10	2301,42	284,24	87,01	756,38	1173,79
Ration. 7 kilogr. avoine	6057,10	5837,83	741,06	336,77	711,71	3998,29
Total	8579,20	8139,25	1075,30	423,78	1468,09	5172,08
Excréments	3399,12	2996,66	320,54	169,96	1115,59	1390,58
Matières digérées	5180,08	5242,50	754,76	253,82	352,50	3781,50
Période VI b.						
Ration totale	8579,20	8139,25	1075,30	423,78	1468,09	5172,08
Excréments	3513,30	3119,26	321,02	173,27	1110,12	1515,11
Matières digérées	5031,90	5018,99	754,28	250,51	357,97	3656,97
Matières digérées dans la période VI, en centièmes.						
Période VI *a*	60.38	63.18	70.19	59.89	24.01	73.11
— VI *b*	58.70	61.68	70.15	59.11	24.38	70.71
Moyennes	59.54	62.13	70.17	59.50	24.20	71.91

Pour apprécier l'influence de l'augmentation d'avoine dans la ration sur la capacité de travail du cheval, il suffit de comparer les quantités de matières digérées et les travaux effectués dans les périodes V et VI.

MATIÈRES DIGÉRÉES.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.	TRAVAIL.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Kgrm.
Période VI. 3 kilogr. foin, 7 kilogr. avoine .	754,52	252,17	355,21	3719,24	1 608 201
— V. 3 kilogr. foin, 5kg,5 avoine. . . .	626,16	184,78	422,71	3068,46	818 238
En faveur de VI, + ou —.	+128,06	+ 67,39	— 67,50	+ 650.78	789 963

On voit donc que l'addition de 1k,5 d'avoine a produit une augmentation de 873gr,08 dans les matières digérées et de 789 963 kilogrm. dans le travail effectué. Donc à 1 kilogr. d'avoine correspondent 582 gr. de substance nutritive, et 526 600 kilogrm. et 100 gr. de substance nutritive en avoine correspondent à 90 480 kilogrm.

Pour juger de l'effet produit par le foin, il suffit de comparer, de la même manière, les moyennes des périodes I-III avec les nombres de la période V, on arrive ainsi aux résultats suivants :

MATIÈRES DIGÉRÉES.	PROTÉINE brute.	GRAISSE brute.	CELLULOSE brute.	EXTRACTIFS non azotés.	TRAVAIL.
	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Kgrm.
Périodes I-III. 7 kilogr. foin, 5kg,5 avoine. .	822,58	186,72	816,68	3889,64	1 692 425
Période V. 3 kilogr. foin, 5kg,5 avoine . . .	626,16	184,78	422,71	3068,45	818 238
En faveur de I-III	196,12	1,94	393,94	821,19	874 187

Une augmentation de 4 kilogr. de foin, dans les périodes I-III, correspond donc à un accroissement de 1 412gr,49 dans les substances nutritives digérées et de 874 187 kilogrm. dans le travail effectué. Donc : 1 kilogr. de foin correspond à 353gr,2 de substance nutritive et à 218 547 kilogrm. et 100 gr. de substance nutritive en foin correspondent à 61 900 kilogrm.

Ces résultats conduisent à la conclusion suivante : La substance organique digérée, calculée en substance nutritive d'après la règle ordinaire, possède, au point de vue de la production de force, ou de la capacité de travail chez le cheval, une valeur notablement plus

faible lorsqu'elle provient du fourrage et en particulier du foin, que si elle émane des aliments concentrés et spécialement de l'avoine.

Cette différence dans les effets produits par les fourrages et les aliments concentrés est due surtout à la cellulose; cette substance paraît n'avoir aucune valeur pour la production de la force chez le cheval; on en trouve une preuve, non seulement dans les expériences bien connues de Tappeiner et Weiske, mais aussi dans celles de Hohenheim et de Paris. Ces dernières fournissent du moins des nombres absolument concordants si de la totalité de la substance organique digérée on retranche la cellulose également digérée, en convenant de considérer le reste comme constituant exclusivement la substance nutritive.

	POIDS vif.	SUBSTANCE nutritive totale.	TRAVAIL journalier.	SUBSTANCE nutritive pour travail.	SUBSTANCE nutritive pour entretien.	CELLULOSE digérée.	RESTE sans cellulose. par cheval.	RESTE sans cellulose. par 500 kgr.
	Kilogr.	Gr.	Kgrm.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.	Gr.
			Expériences d'Hohenheim, 1886-87.					
Période I-III.	475	5 974	1 692 430 =	1 982	3 992 —	817 =	3 175	3 342
— IV.	475	5 425	1 266 030 =	1 482	2 943 —	686 =	3 275	3 429
— V.	475	4 561	818 240 =	958	3 603 —	423 =	3 180	3 329
— VI.	475	5 434	1 608 200 =	1 883	3 551 —	355 =	3 196	3 364
			Expériences de Paris.					
Cheval II. .	411	3 060	92 230 =	108	2 952 —	220 =	2 732	3 324
— III. .	441	3 310	101 630 =	119	3 191 —	256 =	2 935	3 328
			Expériences d'Hohenheim.					
Période I. .	»	5 568	1 400 000 =	1 634	3 934 —	664 =	3 270	3 442
— II.	»	5 856	1 599 000 =	1 872	3 984 —	798 =	3 186	3 353
— III-V	»	5 873	1 599 000 =	1 872	4 001 —	759 =	3 242	3 413
— VI-VII	»	6 356	1 932 100 =	2 262	4 094 —	752 =	3 342	3 549
— VII.	»	6 122	1 732 250 =	2 028	4 094 —	778 =	3 316	3 490
— IX.	»	5 605	1 066 000 =	1 248	4 358 —	1 188 =	3 170	3 335
			Moyennes de nombreuses expériences d'Hohenheim (années précédentes).					
Cheval I. .	533	6 306	1 614 000 =	1 890	4 416 —	815 =	3 601	3 378
— II. .	500	6 080	1 603 000 =	1 877	4 202 —	978 =	3 224	3 224
— III. .	475	5 701	1 490 200 =	1 745	3 956 —	815 =	3 141	3 306
Moyennes.	503	6 029	1 579 100 =	1 804	4 191 —	869 =	3 322	3 303

De ces résultats découlent, comme base de l'alimentation rationnelle du cheval, les principes suivants :

1° La cellulose digérée, provenant des fourrages ou des aliments

concentrés, ne paraît avoir aucune valeur soit pour l'entretien du cheval au repos complet, soit en vue de la production de force pour le travail;

2° Si l'on retranche cette cellulose de la totalité des substances organiques digérées, on peut considérer les restes ainsi obtenus comme équivalents, qu'ils proviennent des fourrages ou des aliments concentrés;

3° Si l'on ne considère que le maintien du cheval dans un état moyen d'entretien, il faut lui fournir, pour lui assurer un poids vivant de 500 kilogr., de 3300 à 3400, en moyenne 3350 gr. de substance nutritive débarrassée de cellulose; dans cette évaluation, l'albumine et les hydrates de carbone (matières extractives non azotées) sont considérés comme dynamiquement équivalents, et la graisse digérée, multipliée par 2-4, est assimilée aux hydrates de carbone;

4° Déduction faite de ces 3350 gr. de substance nutritive pour l'entretien de l'animal, 100 gr. de substance nutritive également libre de cellulose produisent un accroissement de 85 400 kilogrm. dans la capacité de travail musculaire du cheval.

On peut déduire de ces résultats les valeurs au point de vue du travail des différentes substances alimentaires dont la digestibilité a été déterminée sur des chevaux à Hohenheim.

1 KILOGR. SÉCHÉ A L'AIR de :	SUBSTANCE organique digérée			ÉQUIVALENT en travail	
	totale.	cellulose.	sans cellulose.	avec cellulose.	sans cellulose.
				Kgrm.	
Foin de prairie	406 —	114 =	292	346 724	249 400
— de trèfle	411 —	120 =	291	350 994	248 500
— de luzerne	462 —	110 =	352	394 548	300 600
Paille d'hiver	157 —	76 =	81	134 078	69 200
Avoine	602 —	20 =	582	514 008	497 000
Orge	707 —	41 =	666	603 778	568 800
Maïs	800 —	15 =	785	683 200	668 400
Féveroles	724 —	45 =	679	618 296	579 900
Pois	667 —	5 =	662	569 618	565 400
Lupins	631 —	87 =	547	541 436	467 100
Tourteaux de lin	634 —	» =	634	541 436	541 436
Graines	740 —	» =	740	631 960	631 960
Pommes de terre	215 —	» =	215	183 610	183 610
Carottes	60 —	» =	60	51 240	51 240

Il est à remarquer que le foin de prairie était d'une qualité un peu supérieure à la moyenne; que l'avoine, l'orge et le maïs étaient très riches en protéine, et enfin que la teneur des carottes en substance sèche était extraordinairement faible.

Remarques du Rapporteur.

En exposant un travail de Stutzer et Isbert sur la détermination des hydrates de carbone digestibles, le rapporteur du présent mémoire a émis l'opinion que, d'après les résultats acquis jusqu'alors par l'expérience, la cellulose ne devait pas être considérée comme absolument dépourvue de valeur au point de vue nutritif. Le présent travail paraît contredire cette conclusion, du moins en ce qui concerne l'alimentation du cheval. Malgré cela, le rapporteur estime que, dans l'état actuel des choses, toute conclusion relative au pouvoir nutritif de la cellulose doit être ajournée; car même les expériences rapportées ci-dessus ne permettent pas de se prononcer d'une manière décisive. C'est ce qu'on verra d'après les considérations suivantes.

Les expériences de 1886-1887 exécutées à Hohenheim, ont établi que 100 gr. de substance nutritive en avoine produisent un accroissement de travail de 90 480 kilogrm.; mais que cet accroissement tombe à 61 900 kilogrm. sous l'influence de 100 gr. de substance nutritive provenant du foin. C'est cette différence dans les effets produits par des poids égaux de substance nutritive provenant de fourrages ou d'aliments concentrés qui a fait admettre la complète nullité du pouvoir nutritif de la cellulose. En outre, ce n'est qu'en adoptant cette dernière conclusion que les quantités de substances nutritives nécessaires pour maintenir le cheval au poids vivant de 500 kilogr. sont concordantes dans les expériences de Paris et dans celles d'Hohenheim.

Mais si l'on applique le même calcul à quelques-unes des expériences de 1886-1887, on arrive à des résultats complètement différents. Dans l'exposé qui va suivre, on ne tiendra pas compte de la période IV (graines de lin), dont les résultats sont moins précis que ceux des autres périodes.

	Nourriture			
	Foin.	Paille.	Avoine.	Maïs.
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Période I.	6	»	5	»
— II	6	1	5	»
— VII.	6	1	2,5	2,5
— VIII.	7	»	5	»

Avec ces nombres, on est en mesure d'apprécier, en comparant les périodes I et II, l'effet produit par 1 kilogr. de paille; et en comparant I et VIII, l'effet dû à 1 kilogr. de foin. Dans les périodes II et VII, les doses de fourrage sont identiques, la distribution des aliments concentrés seule a changé; la différence des quantités de substances nutritives absorbées n'est donc imputable qu'à l'effet du maïs. Les nombres nécessaires aux calculs se trouvent dans le mémoire original, page 91. Ils conduisent aux résultats suivants :

a. — *Effet des matières nutritives dans 1 kilogr. de paille.*

	Matières nutritives totales.	Travail journalier.
	Gr.	Kgrm.
Période II.	5 856	1 599 000
— I.	5 568	1 400 000
Excédent de II. . . .	288	199 000

Donc : 288 gr. de substance nutritive, sous forme de paille, correspondent à 199 800 kilogrm., et 100 gr. de substance nutritive, sous forme de paille, correspondent à 69 100.

b. — *Effet des substances nutritives dans 1 kilogr. de foin.*

	Matières nutritives totales.	Travail journalier.
	Gr.	Kgrm.
Période VIII	6 122	1 732 250
— I	5 568	1 400 000
Excédent de VIII. . .	554	332 250

Donc : 554 gr. de substance nutritive, sous forme de foin, correspondent à 332 250 kilogrm., et 100 gr. de substance nutritive, sous forme de foin, correspondent à 60 000 kilogrm.

c. — *Effet des substances nutritives sous forme d'aliments concentrés (maïs).*

	MATIÈRES nutritives totales.	TRAVAIL journalier.
	Gr.	Kgrm.
Période VII.	6 356	1 932 100
— II.	5 836	1 599 000
Excédent de VII. . . .	500	333 100

Donc : 500 gr. de substance nutritive, sous forme de maïs, correspondent à 333 100 kilogrm., et 100 gr. de substance nutritive, sous forme de maïs, correspondent à 66 600.

On remarquera, en passant, que le travail effectué dans la période VII (ration de maïs) est représenté par sa valeur maximum ; car le nombre de tours de manège était, en réalité, de 700 (à 60 kilogrm.), et pour le motif déjà présenté, page 344, les expérimentateurs l'ont fixé à 725.

Les expériences de 1885-1886 conduisent donc, contrairement à celles de 1886-1887, à cette conclusion que des quantités égales de substances nutritives, sous forme de fourrages, ou sous forme d'aliments concentrés, produisent des effets sensiblement égaux. Le nombre le plus élevé correspond à la paille, le plus bas au foin, entre les deux se trouve celui qui correspond au maïs (aliments concentrés).

En conséquence, il y a désaccord entre les nombres trouvés pour l'avoine et pour le maïs, puisque : 100 gr. de substance nutritive sous forme d'avoine = 90 480 kilogrm. ; 100 gr. de substance nutritive sous forme de maïs = 66 600 kilogrm.

On peut invoquer deux arguments d'une grande importance en faveur de la généralité du résultat trouvé pour l'avoine (100 gr. = 90480 kilogrm.), et par lequel on démontre que la cellulose n'a aucune valeur pour le cheval. En premier lieu, les expérimentateurs d'Hohenheim ont trouvé dans d'anciennes recherches comparatives sur l'alimentation avec de l'amidon de riz et avec de l'avoine que 100 gr. de substance nutritive produisent un accroissement de travail de 85400 kilogrm. Ce nombre est voisin de celui qui a été trouvé pour l'avoine et s'écarte notablement de celui qui correspond au maïs.

Mais si l'on est forcé d'admettre des différences au point de vue qui nous occupe, même entre les différentes espèces d'aliments con-

centrés (comme ici entre l'avoine et le maïs), on pourrait aussi admettre la possibilité d'une variation d'ordre général du rapport d'équivalence 100 gr. de matières nutritives = 85 400 kilogrm.

C'est là, le point de départ du nouveau point de vue que le rapporteur des expériences Hohenheim cherche à mettre en évidence. Les résultats des expériences d'Hohenheim concordent avec ceux des expériences de Paris, en admettant que la cellulose ne possède aucun pouvoir nutritif, et que 100 gr. de substance nutritive correspondent à 85 400 kilogrm.

Les conclusions prennent une tout autre forme, si l'on fait intervenir la possibilité invoquée ci-dessus. Dans les expériences de 1885-1886, on a trouvé que 100 gr. de substances nutritives, sous forme de paille, de foin et de maïs, correspondent respectivement à 69 100, 60 000 et 66 600 kilogrm.

Si l'on adopte comme moyenne le nombre 65 000 kilogrm. et si l'on s'en sert pour calculer le taux des matières nutritives nécessaires pour maintenir le poids vif moyen de 500 kilogr., on arrive aux résultats suivants :

PÉRIODE ou cheval.	POIDS vivant.	MATIÈRES nutritives totales.	TRAVAIL.	SUBSTANCES NUTRITIVES pour travail.	pour l'entretien du cheval.	pour maintenir 500 kilogr.
	Kilogr.	Gr.	Kgrm.	Gr.	Gr.	Gr.
			Expériences d'Hohenheim 1885-86.			
I-III.	475	5974	1 692 430	2601	3370	3517
IV.	475	5425	1 256 030	1918	3177	3660
V.	475	4561	818 240	1259	3302	3475
VI.	475	5131	1608 200	2471	2960	3155
			Expériences de Paris.			
II.	411,8	3060	92 230	142	2918	3559
III.	411,8	3310	101 630	156	3151	3575
[1]	428,3	3831	569 050	875	2956	3154
			Expériences d'Hohenheim 1886-87.			
I.	475	5568	1 400 000	2151	3114	3595
II.	475	5856	1 599 000	2160	3393	3575
III-V.	475	5873	1 599 000	2160	3413	3591
VII.	475	6355	1 932 100	2972	3381	3560
VIII.	475	6122	1 732 250	2635	3457	3510
IX.	475	5605	1 066 000	1610	3965	4175

1. Mémoire original, p. 112, marche au pas ; moyenne de trois expériences.

Les résultats des expériences de Paris pourraient donc être mis d'accord avec ceux des expériences d'Hohenheim, sans qu'il soit nécessaire de refuser toute espèce de pouvoir nutritif à la cellulose ; et cela, on ne saurait trop le remarquer, au moyen des nombres déduits des expériences d'Hohenheim. Les périodes VI, 1886-1887, et IX, 1885-1886, forment exception à cet égard ; cependant, on pourrait peut-être en trouver l'explication, du moins pour la dernière, dans la nature spéciale de la nourriture qui était composée exclusivement de foin.

Il est à peine besoin de faire remarquer que ces arguments n'ont pas la prétention de trancher les difficultés; ils ont uniquement pour but de montrer: 1° que la question du pouvoir nutritif de la cellulose n'est pas encore résolue ; 2° qu'il est possible d'établir la concordance entre les expériences d'Hohenheim et celles de Paris, par une voie différente de celle qui a été adoptée par les expérimentateurs allemands.

(Traduit de l'allemand par M. Margottet, *directeur de la Station agronomique de Dijon.*)

STATIONS AGRONOMIQUES SUÉDOISES

EXTRAIT DU PROCÈS-VERBAL DE LA RÉUNION DES DIRECTEURS DES STATIONS AGRONOMIQUES NATIONALES DE LA SUÈDE A STOCKHOLM (24-27 JANVIER 1888)[1].

Les Directeurs des stations agronomiques nationales de la Suède, assemblés à Stockholm, viennent de s'entendre sur les conditions auxquelles les aspirants aux places de premiers assistants, sous-chefs des stations agricoles, dès le jour où celles-ci seront confiées tout à fait aux pleins pouvoirs de l'État, ce qui sera prochainement le cas[2], pourront concourir.

La compétence fixée à cet égard est celle-ci : L'aspirant sera tenu de posséder le diplôme d'étudiant, le diplôme de sortie d'un des Instituts agronomiques de l'État, le diplôme du baccalauréat avec un certificat de trois points pour la chimie et de deux points pour la botanique et la géologie, ou, au lieu du baccalauréat, le diplôme de sortie de la classe chimique de l'Académie technologique avec un certificat de plus d'un point pour la chimie, la géologie et la minéralogie. Sera pourtant préféré un aspirant muni du diplôme de baccalauréat à celui qui est sorti de l'Académie technologique.

La Suède possède à présent 7 stations agronomiques.

1. Nous nous empressons de publier cette communication de notre savant confrère, M. Zetterlund, directeur de la station d'Örebro et correspondant des *Annales* pour la Suède. L. GRANDEAU.

2. Les stations agronomiques de la Suède sont à présent subventionnées par l'État dans une proportion de 50 à 80 p. 100, le reste des frais étant fournis par les Sociétés économiques des différentes provinces.

Ces stations sont réparties ainsi :

	NOM de la Station.	FONDÉES en :	ADRESSES.	DIRECTEURS.
1	Skara	1877	Skara	O. Nylander.
2	Halmstad. . . .	1877	Halmstad. . . .	E. Lyttkens.
3	Kalmar.	1877	Kalmar	A. Atterberg.
4	Vesterås	1877	Vesterås	J. O. Bergstrand.
5	Örebro.	1881	Örebro.	C. G. Zetterlund.
6	Hernösand . . .	1885	Hernösand . . .	C. G. Strokirk.
7	Jönkoping. . . .	1885	Jönköping . . .	C. von Feilitzen.

Outre ces stations agronomiques, la Suède a deux stations d'expériences chimiques et une station d'expériences physiologiques.

Les deux premières sont :

1° *Ultuna*, près d'Upsal, établie en 1860, dont M. le professeur Dr Hampus von Posl est le directeur ;

2° Celle de la station d'essais de l'Académie agronomique royale dans son champ d'expériences à *Albano*, établie en 1862 : directeur M. le professeur Dr L. F. Nilson.

La station d'expériences physiologiques de l'Académie agronomique royale, dans son champ d'expériences à *Albano*, établie en 1888 : directeur M. le professeur Dr Yákob Eriksson.

En dehors de ces stations agricoles, il y a en Suède 17 stations d'essais de semences subventionnées en partie par l'État.

Deux nouvelles stations agricoles sont en voie de création, l'une à Kristianstad, l'autre à Geflе ; de plus, la création d'une station de chimie vient d'être proposée à la Diète actuellement assemblée : cette station s'occuperait tout spécialement des terres croulières du pays.

Örebro, le 8 février 1888.

C. G. Zetterlund.

NOUVELLES RECHERCHES

Du Dr Prof. J. KUHN

SUR LES PLANTES-PIÈGES DES NÉMATODES

(*Berichte der Landw. Instituts der Universität Halle,* 6e fascicule, 1886.)

L'efficacité des plantes-pièges pour la destruction des Nématodes de la betterave est une question maintenant hors de doute ; nos expériences, publiées dans le 4e fascicule de ces *Berichte,* l'ont suffisamment démontré ; la diminution du fléau est toujours assez sensible, pour ramener aussitôt à un chiffre absolument normal le rendement d'une terre sur laquelle la présence du parasite avait complètement tué la culture de la betterave. Il suffit, pour arriver à ce résultat, de faire plusieurs récoltes successives de ces plantes-pièges.

Mais le procédé que j'ai indiqué, avec ses bêchages, avec la récolte faite à main d'homme, exige un travail considérable. Ce n'est pas que, en raison du succès, les frais soient trop élevés, mais c'est qu'il est difficile de pouvoir disposer, pour de grandes étendues, d'une main-d'œuvre suffisante qui permette de terminer l'opération dans le temps voulu. Cette difficulté et une observation nouvelle que je fis sur la vie de la larve sur les plantes-pièges arrachées, m'amenèrent à chercher le moyen d'anéantir la récolte sur place, et au moment voulu, en me servant d'instruments mus par des chevaux. L'observation à laquelle je viens de faire allusion porta sur des betteraves que j'avais semées en 1881 sur un tas de plantes-pièges de l'année précédente et pourries : ces betteraves restèrent complètement exemptes de nématodes. Je notai le même fait en 1882 ; pour rendre l'expérience complète, je fis encore une fois semer en betteraves le même terrain ; puis j'ensemençai concurremment 3 autres

sols : l'un était formé de plantes pièges pourries auxquelles on mêla les jeunes betteraves nématodées en 1881 ; le 2e fut fait avec du terreau provenant du nettoyage des récoltes, et renfermant par conséquent des nématodes parvenus à maturité sexuelle; enfin, le 3e était de la terre extraite d'un champ non encore nématodé. Ces 4 parcelles furent espacées de 2 mètres. A l'automne 1882, les betteraves de la 1re, de la 2e et de la 4e étaient absolument indemnes, tandis que celles de la 3e étaient fortement attaquées. La conclusion à tirer de ceci, c'est que les plantes-pièges pourries se comportent comme un sol exempt de nématodes, c'est-à-dire que toutes les larves qui s'y trouvaient ont péri et que pas une n'a pu atteindre l'état sexué. Ces résultats venaient confirmer les conséquences que j'avais tirées de mes premières recherches (4e fascicule) : « Lorsque la larve qui s'est insinuée dans le tissu d'une radicelle a atteint cet état particulier dans lequel elle abandonne la forme grêle du ver pour s'arrondir et commencer à se gonfler en une sorte de petite bouteille, c'en est fait, pour elle, de la possibilité de se mouvoir ; cependant, elle a encore besoin d'une nourriture riche et abondante pour poursuivre les métamorphoses qui doivent la conduire à l'état d'animal sexué: Détruisez, à ce moment, l'activité vitale de la plante nourricière tuez la racine qui fournit l'aliment, et la nutrition de la larve devient dès lors impossible. Comme elle a perdu la faculté de se mouvoir, elle ne peut aller à la recherche d'une nouvelle plante nourricière ; fatalement, elle doit succomber. » D'après cela, il y avait lieu de chercher si l'on pouvait arriver, par des opérations faites sur le champ même, à l'époque convenable, avec des instruments mus par des chevaux, à détruire les plantes-pièges assez promptement pour que les radicelles ne puissent servir, même pendant un temps très court, au développement ultérieur des larves. Pour faire ces nouvelles recherches sur grande échelle, un champ confinant à celui qui nous avait servi jusque-là, et qui avait porté des betteraves en 1881 me parut convenir. La récolte de ce champ avait été si mauvaise, que le régisseur du domaine, le directeur Hermann, avait déclaré : « Qu'on ne pourrait plus y faire de betteraves ». C'était un problème intéressant, que de chercher à obtenir, dans un état de choses aussi malheureux, une récolte normale pour 1883. Je demandai donc à la

direction de la Compagnie sucrière de Halle, de m'affermer ce champ. Comme plantes-pièges, je choisis celle qui, d'après nos précédentes recherches, me paraissait la plus digne de confiance, le colza d'été (*Brassica rapa oleifera annua Metzg.*) et j'en semai 38 kilogr. à l'hectare. Les diverses sortes de choux sont encore meilleures, mais leur graine est plus chère, et elle lève moins bien ; d'autre part, le colza d'été a sur le navet et le colza d'hiver, l'avantage de donner plus de racines. Comme quantité de semences, je n'avais employé, dans mes précédentes recherches, que 29 kilogr. à l'hectare ; je choisis cette fois un quantum plus élevé, parce que la récolte devait se faire, non plus à la main, mais au moyen d'instruments mus par les chevaux ; dans l'arrachage à la main, des semis trop épais occasionnent plus de travail ; c'est le contraire qui se produit dans les conditions nouvelles où nous nous placions. J'ensemençai 7 carrés et l'opération se fit du 3 au 29 avril 1882. Les premières plantes-pièges levèrent le 11 avril, et ce fut le 15 mai, c'est-à-dire 34 jours après la première apparition des plantules, que se fit le premier arrachage. On put réensemencer cette pièce le 24 mai ; la levée eut lieu le 31 mai, et la destruction se fit le 24 juin. Les autres parcelles furent traitées de la même façon, mais je me trouvai alors dans l'impossibilité de conserver des attelages de louage suffisants pour pouvoir conduire les recherches en même temps sur toute la superficie du champ. Je dus donc me résoudre à exclure de la suite des expériences une partie importante de la surface que j'avais choisie. Ayant décidé de laisser le colza monter à graine, je dus éclaircir les jeunes plants au moyen de la herse. Les nématodes se trouvèrent en telle abondance, que le développement se fit mal et que le rendement fut peu satisfaisant. Les semailles se firent à la volée, au moyen du semoir à trèfle, qui répartit bien également la graine ; on enterrait celle-ci avec une herse légère, et l'on passait ensuite le rouleau-squelette de Küster. Je préférai semer à la volée plutôt qu'au semoir tournant, à cause du but que je poursuivais, supposant que les plantes semées en ligne devaient être détruites moins également par le fer de la houe, en raison de ce qu'il s'en présente un trop grand nombre à la fois au tranchant des couteaux. Toutes les graines levèrent très bien et très également ; elles grandirent très également aussi jusqu'au moment

de leur destruction. Il n'y eut exception que pour les 5es semailles qui se firent sur la 1re parcelle, le 16 septembre ; la levée eut lieu le 24 septembre et fut bonne, mais, peu après, il se produisit des vides ; cette destruction fut causée, non par les pucerons, qui s'attaquent à la partie aérienne, mais résulta surtout de la mort des racines. Sur nombre de plantes dont les feuilles étaient encore toutes fraîches, les racines commençaient à brunir. Le microscope révéla comme cause de ce phénomène l'invasion en masse d'un parasite nouvellement décrit, le *Pythium de Baryanum,* var. *Brassica.* Je l'avais déjà remarqué sur les colzas de 3e et de 4e semis. Ce *Pythium de Baryanum-Hesse* est vraisemblablement identique au *Lucidium pythioides,* que Lohde a trouvé sur le cresson, la moutarde, et même sur la betterave fourragère. Cependant, grâce à un développement vigoureux, les betteraves à sucre semées en 1883 furent très vite hors de danger ; aux plantes un peu avancées, ce parasite ne cause en effet qu'un dommage de peu d'importance.

Le procédé que j'employai pour la destruction des plantes-pièges était le suivant. Tout d'abord, je fis passer sur le champ une houe à cheval dont les couteaux, bien tranchants, étaient assez voisins pour que toute la superficie du champ fût coupée également. La profondeur qu'ils prenaient était de 3 centimètres. Comme à certains endroits, particulièrement sur la trace des pas des animaux de trait employés au labour, les plantes étaient plus épaisses et n'étaient pas entamées par le tranchant des couteaux, je fis passer une seconde fois la houe, perpendiculairement à la première direction et à une profondeur de 5 centimètres environ. Ensuite, on donna un coup de herse. Grâce au temps sec, les plantes se fanèrent rapidement. Cependant, certaines places particulièrement profondes, que la houe n'avait pu entamer, gardaient encore leur fraîcheur : j'y mis quelques femmes pour les sarcler. J'imaginai ensuite de couper les racines au moyen de scarificateurs marchant dans des directions perpendiculaires, afin de détruire aussi rapidement que possible toute leur vitalité, et d'enlever immédiatement aux larves leur aliment. Je fis préparer pour cette opération deux scarificateurs pouvant aller à la profondeur de 36 centimètres. Un extirpateur Coleman devait suivre le second scarificateur.

La 1re parcelle fut aussi travaillée de cette manière, mais seulement une fois. La force de traction nécessitée par une profondeur suffisante des scarificateurs était trop considérable, et il en résulta que le travail fut trop long. Dans la suite, j'employai, au lieu des scarificateurs et du Coleman, une fouilleuse avec des socs construits d'une façon particulière. Ceux-ci ont une longueur de 38 centimètres ; ils sont recourbés transversalement, formant comme le creux d'une main, et cette arcure s'élargit à la partie inférieure, pendant que l'extrémité du soc se recourbe en avant. La section du soc a la forme d'une parabole dont les deux points extrêmes sont distants de 10cm, 5 et dont la ligne de courbure a 19 centimètres; les socs sont fixés sur le bâti de l'extirpateur de façon que les pointes soient distantes de 10 centimètres les unes des autres, pour que, sur toute la surface attaquée, les racines soient arrachées en totalité, en même temps que la partie supérieure du sol se trouve ameublie. Cet instrument remplit parfaitement son but jusqu'à une profondeur de 18 centimètres. Après le passage de cette fouilleuse, la terre fut labourée en sillons étroits, larges de 15 centimètres au plus et profonds de 25, en ayant soin d'adapter à la charrue une rasette pénétrant à 10 centimètres. Cette rasette rejette au fond du sillon toutes les parties des plantes-pièges qui se trouvent au-dessus, et celles-ci sont, de la sorte, recouvertes d'une épaisseur de terre si considérable, que le peu d'activité vitale qui pouvait leur rester est immédiatement étouffé. Par les temps secs, tout est sans doute déjà mort avant le labour, mais, par les temps humides, les plantes, tout en étant quelque peu fanées, sont cependant susceptibles de conserver un peu de fraîcheur. Dans mes expériences, elles furent donc labourées, et par conséquent bientôt tuées. Sans ces opérations du coupage et de la rupture des racines, la mort des plantes enfouies n'est pas aussi rapide. De tout ceci, la conclusion à tirer est : qu'il faut faire précéder le labour en petites bandes et à 2 reprises, du passage de la houe, de la herse et de la fouilleuse, et ne jamais négliger de le faire suivre de l'emploi de la rasette. Les nouvelles semailles de plantes-pièges doivent suivre le plus tôt possible le labour.

Pendant leur développement, je répétai mes recherches au micros-

cope, afin de pouvoir entreprendre les opérations de destruction des larves dès le commencement de la période de transformation la plus favorable. Il vaut mieux, pour être sûr d'arriver à temps, commencer dès que l'on découvre des larves arrivées à l'état piriforme parfait, même quand toutes ne seraient pas encore suffisamment développées ; celles-ci, aussi bien que celles qui n'ont pas encore pénétré dans les tissus, seront atteintes par la récolte suivante. Si on laisse passer le moment propice, c'est la multiplication des nématodes, et non leur disparition, qui en sera le résultat. Nos observations nous ont fait voir que, par un temps très chaud et humide, le moment favorable pour la destruction des plantes-pièges commence dès le 15e jour, tandis qu'au printemps ou à l'automne, par une température plus basse, il faut attendre un peu plus.

Les plantes du premier semis contenaient une si grande quantité de nématodes, que je n'en avais jamais vu en si grand nombre ; souvent, on en voyait 2 ou 3 les uns à côté des autres sur les radicelles, qui prenaient alors un aspect noueux, et, pendant que certains de ces parasites étaient encore à la période de jeunesse, comme cela se voit d'ordinaire dans les radicelles, d'autres paraissaient arrivés à leur complet développement ; tandis que la plus grande partie montraient une taille et un arrondissement de la région postérieure, caractéristiques du moment à choisir pour la destruction des plantes-pièges, d'autres étaient beaucoup moins développés, et je trouvai même plusieurs embryons dont l'extrémité antérieure était plongée dans une radicelle, pendant que l'extrémité postérieure se dressait encore au dehors. Je remarquai même dans le sol des embryons qui ne s'étaient pas encore mis en quête de racines. Cependant, conformément au principe posé plus haut, à savoir, « que c'est sur l'état de développement des larves les plus avancées qu'il faut se baser », je dus procéder à la destruction de la première récolte. — Les plantes de second semis se montrèrent encore très riches en nématodes ; le développement du parasite fut plus rapide, de sorte que l'anéantissement des plantes-pièges dut être fait plus tôt que pour les premières. — Le fait de l'existence de cette grande quantité de nématodes dans la 2e récolte montre que, dans un terrain infesté, un semis unique de plantes-pièges, fait dans le chaume des céréales

précédant la betterave, peut n'être pas suivi d'un effet suffisant ; il faut, pour être sûr du succès, consacrer une année entière à la culture de ces plantes, et en faire au moins 4 semis. Le 3e semis ne présente plus que quelques nématodes clairsemés ; dans le 4e et le 5e, c'est à peine si l'on trouva une larve. Cependant, sur la parcelle qui confinait à cette partie du champ sur laquelle on avait laissé mûrir le colza, on trouva, à la 4e récolte, beaucoup d'embryons qui y avaient émigré. Ainsi que je l'ai déjà mentionné, le colza avait été attaqué de telle sorte, que son développement et son rendement en graine s'en étaient fortement ressentis ; les embryons nés dans cette pièce l'avaient abandonnée, et avaient émigré sur la parcelle précitée. C'est d'ailleurs à dessein que je n'avais pas creusé de fossé pour me garder de cette invasion, parce que je voulais profiter de la circonstance pour étudier la faculté d'émigration de notre ennemi : je vis ainsi que les larves d'une seule génération pouvaient s'avancer jusqu'à 18 mètres.

Ainsi, dans un champ extraordinairement infesté de nématodes, les plantes-pièges nous en débarrassèrent de telle sorte que la 4e récolte de celles-ci ne présentait plus que quelques rares larves isolées : cela nous permit d'attendre de ce champ, pour 1883, une récolte normale de betteraves. Cette prévision se réalisa.

La parcelle de 3hect,3 fut labourée profondément pour le 5e semis de plantes-pièges dans l'automne 1882, et reçut, le 14 avril 1883, 40 kilogr. par hectare, de graine de betterave à sucre, variété *Électorale*. Sur une partie du champ d'expériences, la graine leva irrégulièrement et en laissant des vides, de sorte que je fis semer de nouveau, le 19 mai. La levée eut lieu, cette fois, le 28 mai. Les betteraves furent démariées du 17 au 23 juin et reçurent trois binages. Pendant le développement, et au moment de la récolte, on ne vit que quelques nématodes isolés ; seulement, à la limite de la surface portant des betteraves, là où un sillon seul la séparait du terrain encore infesté, les parasites, en raison de leur faculté migratoire, furent un peu plus nombreux. Il est donc toujours urgent de ne pas limiter les plantes-pièges à la pièce qu'on veut cultiver en betteraves, mais de l'étendre autant que possible ; si l'on n'essaie les plantes-pièges que sur une partie de la surface, il faut nécessairement isoler

cette partie, non seulement pendant la 1re année, mais aussi pendant l'année suivante, par un fossé suffisamment profond ; l'isolement ne doit même pas cesser quand on continue à semer des plantes-pièges sur la parcelle contiguë ; c'est seulement lorsque la culture des plantes-pièges a été faite et est terminée sur toute la superficie, que l'on peut aplanir le fossé de séparation.

La récolte des betteraves d'expériences cultivées en 1883 commença le 15 octobre, tant pour le 1er semis (var. *Électorale*) que pour le second (Cie sucrière de Halle) ; nous pesâmes les betteraves après les avoir nettoyées avec soin, et nous constatâmes les poids suivants *par are :*

a) 1er semis (Électorales).	894 livres,	avec	feuilles.
— —	726 —	sans	—
b) 2e semis (compagnie sucrière).	992 —	avec	—
— —	638 —	sans	—

Ce qui fait :

a) 1er semis.	185 quint. (de 50 kilogr.),	34 livres par journal	(1/4 hectare environ).
b) 2e — .	162 — —	88 —	—

En comparaison du rendement dans le pays en 1883, le nôtre peut être regardé comme absolument normal. Nous avons donc, par 5 semailles successives de plantes-pièges et leur destruction au moyen d'instruments mus par des chevaux, rendu son rendement normal à un champ qui, grâce à son infection par les nématodes, était regardé comme complètement impropre à la culture de la betterave ; de plus, nous avons fait voir que le procédé est économiquement applicable aux plus grandes surfaces.

J'ai ici à mentionner une remarque importante que j'ai faite lors de la culture de betteraves dont je viens de parler. La grande masse d'herbes introduite dans le sol par l'enfouissement des 4 récoltes de plantes-pièges est un engrais dont il faut tenir compte. Dans le cas actuel, le phénomène se trouve encore renforcé par l'accroissement du pouvoir d'absorption du sol pour l'ammoniaque atmosphérique, accroissement dû à l'ombre épaisse fournie par des plantes très feuillues. Je tins compte de cette considération lors des semailles de

betteraves du printemps 1883 : au lieu de fumer comme précédemment en employant 40 livres d'azote et 40 livres d'acide phosphorique par journal, j'employai seulement 30 livres d'azote, la quantité d'acide phosphorique restant d'ailleurs la même. Cette quantité d'azote fut encore trop élevée, et il en résulta une pauvreté en sucre très frappante ; les analyses faites sur des betteraves récoltées à 4 places différentes donnèrent les résultats suivants :

DÉSIGNATION des variétés de betteraves.	POIDS spécifique du jus.	DEGRÉ Brix.	SUCRE p. 100 du jus.	NON-SUCRE p. 100 du jus.	COEFFICIENT de pureté.
1er semis (Électorales) *a*.	1,048	12° 00	10.97	1.03	91.41
— — *b*.	1,048	12 00	10.80	1.20	90.00
— — *c*.	1,050	12 50	10.71	1.79	85.60
— — *d*.	1,048	12 00	10.39	1.61	86.58
2e semis (compagnie sucrière) *a*. . .	1,057	14 00	12.19	1.81	87.07
— — *b*. . .	1,046	11 50	10.32	1.18	89.73
— — *c*. . .	1,044	11 00	9.31	1.69	84.64
— — *d*. . .	1,044	11 00	9.17	1.83	83.36

D'après cela, il paraît convenable, après l'année de plantes-pièges, d'apporter moins d'azote aux betteraves qui les suivent ; avec 20 livres d'azote pour 40 d'acide phosphorique par journal, on obtiendra probablement des betteraves plus riches.

Pendant les 2 années suivantes, je fis de l'orge sur le champ d'expériences qui, en 1883, avait fourni les rendements que je viens de signaler ; j'obtins, par journal prussien :

1884 (Orge Chevalier) . . . 14qx,30liv de grains + 23qx,7liv paille et balles.
1885 (Orge du Probstei) . . 19 ,66 — + 21 ,62 —

Ces chiffres montrent qu'on peut faire orge sur orge après une bonne sole de betterave à sucre, et ceci est une donnée digne d'attention, eu égard aux considérations que je vais maintenant développer.

La culture de plantes-pièges n'amène pas une disparition complète

des nématodes, puisque nous en avons trouvé, jusqu'à la fin, à l'état isolé, sur les betteraves ; ils sont en nombre trop faible pour nuire d'une façon appréciable aux récoltes suivantes, mais ils peuvent donner lieu à une invasion nouvelle : c'est ce que nous devons chercher à éviter. Malheureusement, toutes les espèces de céréales peuvent servir de plantes nourricières aux nématodes, celles de printemps peut-être un peu moins que celles d'hiver. Les larves pénètrent dès l'automne dans les racines de seigle et de froment, s'y transforment de bonne heure, au printemps, en animaux sexués, et leur progéniture paraît assez tôt pour donner naissance à une seconde génération sur les céréales d'hiver. Dans le cas de l'orge, les larves restantes doivent, au contraire, hiverner, et, lorsqu'elles pénètrent dans les radicelles, la plante nourricière se développe trop rapidement pour servir à la formation d'une 2e génération. L'avoine se comporterait d'une façon analogue, mais les larves la préfèrent à l'orge, et s'enfoncent dans ses racines d'une façon plus régulière et plus complète, ce qui favorise leur développement. D'autre part, l'orge abandonne un peu plus tôt le sol, ce qui permet de faire sur son chaume une culture de plantes-pièges. Ce semis de plantes-pièges dans le chaume des céréales constitue un puissant moyen de décimer la nouvelle lignée de nématodes, surtout quand il n'en existe encore qu'un petit nombre. Avec le seigle et le froment les larves sont toujours plus nombreuses, et une culture de plantes-pièges n'arrive pas à les détruire aussi sûrement : il sera donc bon, sur tous les champs désinfectés, de faire, de préférence de l'orge pour alterner avec la betterave ; il sera mieux encore de répéter cette céréale sur elle-même et de semer des plantes-pièges dans son chaume.

Le pavot, le lin et les pois peuvent être aussi employés dans la rotation et faire souvent retour, car les nématodes ne les visitent point, et ils laissent le sol assez tôt pour qu'on y puisse faire en automne une culture de plantes-pièges. Le semis de colza d'été dans le chaume de toute récolte qui abandonne la terre assez à temps doit d'ailleurs être la règle dans toute ferme où l'on a à craindre l'invasion et l'extension des nématodes ; l'accumulation d'azote obtenue de la sorte paie les dépenses qu'entraîne ce travail supplémentaire. Le sol doit être ensuite labouré assez profondément avant

l'hiver, en tenant compte, dans l'exécution de ce travail, de l'état de développement des larves, de façon à opérer en temps utile.

Pour le défrichement des plantes-pièges, je crus pouvoir simplifier la méthode. Puisque le développement des larves est plus lent en automne, il me parut possible d'éviter l'emploi des fers de houe et de la fouilleuse, à la condition de bien enfouir les plantes dans la profondeur des sillons, et de les recouvrir d'une forte couche de terre. Le défrichement fut donc fait aussi profondément que le permit l'épaisseur de la couche arable. Pour exécuter ce travail, j'eus recours à la rasette, enfoncée à 10 centimètres dans le sol ; je l'adaptai à la charrue Sack ; celle d'Engel convient très bien aussi. Comme il peut arriver que quelques plantes ne se trouvent pas enfouies, je fis suivre les charrues par des femmes (une pour 2 ou 3 charrues), afin d'enlever les plantes restées sur le sol ou incomplètement enfoncées, et de les jeter dans les sillons encore ouverts. Cette méthode, appliquée avec tout le soin désirable, n'a cependant pas confirmé mes prévisions. En cette année 1886, le 6 avril, nous avons semé de la graine de betterave riche, à raison de 20 livres au journal, l'espacement des lignes était de 14 pouces, celui des betteraves sur la ligne, 10 pouces. La levée eut lieu du 26 au 28 mai, et la croissance fut bonne et régulière jusqu'au commencement d'août ; mais à ce moment apparurent les signes caractéristiques de l'attaque des nématodes. L'arrachage se fit au milieu d'octobre. Le poids de la récolte, après nettoyage et étêtage pour l'usine fut de 575 livres, soit 146,79 quintaux par journal. Le dosage du sucre dans la racine donna 16.85 p. 100. La qualité était donc bonne, et cependant, le rendement total était peu satisfaisant, grâce à ce que les nématodes, pendant les deux années d'orge, s'étaient de nouveau considérablement multipliés, et grâce aussi à ce que le seul enfouissement d'une seule récolte de plantes-pièges en automne n'avait pas suffi à empêcher leur développement. Il résulte de ce qui précède, que l'emploi, à deux reprises, de la fouilleuse et de la herse pour la culture des plantes-pièges semées dans le chaume des céréales, ne peut être évité. En cette automne 1886, j'ai un peu modifié la disposition des socs sur la fouilleuse plus haut décrite, de façon qu'elle pût travailler dans les plantes-pièges sans s'obstruer.

Il est absolument indispensable que les racines soient coupées, et l'emploi de la fouilleuse est par conséquent nécessaire ; je m'en suis convaincu une fois de plus cette année, par des expériences sur des plantes-pièges qui se trouvaient à une période avancée (sans excès) de leur développement, comme il convient pour leur rapide destruction. Je les fis recouvrir de 20 centimètres de terre dont j'entretins l'humidité. Le 5e jour, je commençai à examiner une partie de la masse, et je constatai que les larves continuaient à se développer jusqu'au 10e jour, puis mouraient. J'avais d'ailleurs remarqué, lors de l'enfouissage, qu'il n'existait encore, dans la peau des larves ni femelles arrivées à maturité sexuelle, ni mâles complètement développés ; je trouvai, en revanche, des larves mâles qui montraient déjà le développement dessiné à la figure 7, avec ses sillons caractéristiques, et, d'autre part, des larves femelles qui présentaient la forme en poire de la figure 4. L'examen des matières enfouies me fit voir que les larves mâles les plus avancées arrivaient à leur développement complet, et que le mâle se déployait et s'agitait dans la peau de la larve ; j'en trouvai même de libres, le 8e jour. Les larves femelles les mieux développées atteignaient, le 10e jour, presque la taille de la femelle sexuée, mais présentaient déjà un commencement de désorganisation interne. Je ne pus trouver une seule femelle vivante pleine. Si donc on opère la section des racines à temps, on atteindra le but que l'on recherche, malgré la formation des mâles ; les femelles mourront avant d'être aptes à pondre, et la multiplication du parasite sera par conséquent évitée. De ces observations résulte la nécessité d'apporter ses soins à exécuter la destruction le plus rapidement possible ; or, toute plante qui reste avec les racines engagées dans le sol garde l'humidité et la fraîcheur de ces racines longtemps après l'enfouissage, et d'autant plus longtemps que le temps est plus humide ; aussi, comme peu de jours en plus suffisent pour que les larves femelles les plus avancées arrivent à être mûres pour la reproduction, il faut détruire la cohésion contractée par les racines avec la terre, et en hâter le plus possible la décomposition : c'est à quoi la fouilleuse que j'ai construite arrive, mieux que n'importe quel autre instrument.

Une circonstance qui peut provoquer la multiplication des néma-

todes dans les céréales, c'est la présence de la rave sauvage, du *Sinapis arvensis,* du *Raphanus Raphanistrum;* ce sont, en effet, des plantes nourricières du parasite. Même après le passage de la houe dans le blé, il reste encore, dans les lignes, de ces raves sauvages, dont les racines offrent aux nématodes toutes facilités de développement. Il est donc bon, pour éviter une multiplication nouvelle, de choisir, pour faire passer la houe, le moment où les nématodes ont pénétré dans les raves, afin de les extirper avec elles, et il faut procéder aussi à l'arrachage de celles qui restent dans les lignes.

J'ai entrepris, en 1884, des recherches d'une grande importance et essentiellement différentes des précédentes; il s'agissait de savoir si l'on peut arriver, en cultivant une plante sur laquelle on n'a pas encore observé les nématodes, et qui, de plus, permet un semis de plantes-pièges avant et après elle, à détruire le parasite sans perdre un an d'exploitation. Cette plante devait aussi être compatible avec elle-même, de sorte qu'on pût la cultiver deux années de suite, ce qui entraînerait 4 semis de plantes-pièges. Le chanvre répond à ces desiderata, à la condition de ne le cultiver que pour la filasse, en renonçant à la graine ; l'arrachage de tous les plants, mâles comme femelles, a lieu au moment de la pollinisation.

Pour ces expériences, je pris deux parcelles de 10 ares ; la 1[re] n'avait reçu, depuis 6 ans, que des engrais artificiels, tandis que l'autre avait été fumée avec du fumier d'étable. Cette dernière, dans mes expériences, reçut une dose de bon fumier de ferme évaluée à 250 quintaux par journal ; je fis donner à l'autre, par journal : 40 livres d'azote (moitié en sulfate d'AzH^3, moitié en salpêtre du Chili), et 40 livres d'acide phosphorique sous forme de superphosphate. Les deux parcelles A et B furent labourées à l'automne ; l'engrais fut porté et étendu sur A en hiver, et enfoui au printemps, à 10 centimètres. Pour maintenir l'égalité de traitement, la parcelle B fut labourée aussi à la même profondeur. Les semailles du colza d'été se firent le 4 avril ; il leva le 18 avril, et fut détruit le 30 mai. Les semailles de chanvre se firent le 3 juin, en lignes espacées de 4 pouces 1/2, avec 40 kilogr. (72,72 litres) de graine par 20 ares ; ce chanvre leva le 9 juin, et se développa également sur les 2 parcelles ; cependant, sur celle du fumier de ferme, sa couleur fut d'un

vert plus clair, et sa hauteur fut, en moyenne, de 10 centimètres moindre que sur l'autre Les rendements en chanvre fraîchement arraché furent les suivants :

Parcelle A (fumier de ferme) .	1 955 kilogr. par 10 ares	= 90^{qx},82^{liv}	par journal.
— B (engrais artificiel) .	2 830 — —	= 121 ,52	—

Les deux parcelles furent labourées immédiatement après l'arrachage du chanvre, de sorte que l'on put déjà semer le colza le 26 août et le détruire le 27 septembre. Le 30 du même mois, on fit un nouveau semis de plantes-pièges, et le sol fut profondément labouré avant l'hiver. — Au printemps 1885, les deux parcelles reçurent, sans renouveler le labour, 40 livres d'azote et 40 livres d'acide phosphorique soluble par journal, et les semailles de plantes-pièges se firent le 31 mars ; la destruction de ces plantes-pièges eut lieu le 22 mai, et, le 23, on sema le chanvre dans les mêmes conditions que l'année précédente. Les deux années, la graine fut tirée de l'Oberbaden, et cependant, on ne constata, cette fois, aucune différence importante dans le développement et la couleur du chanvre des 2 parcelles. L'arrachage eut lieu le 20 août, et donna les rendements suivants :

Parcelle A, par 10 ares . . .	2 290 kilogr.,	soit par journal :	116^{qx},93^{liv}
— B, — . . .	2 045 —	—	104 ,42

La récolte séchée à l'air pesait :

Parcelle A, par journal	46^{qx},97^{liv}
— B, —	43 ,40

Bien que la forte fumure au fumier d'étable de l'année précédente ait eu un effet tardif excellent, le rendement total montre cependant l'avantage de l'engrais artificiel.

Parcelle A.	216^{qx},75^{liv} en vert, ou	87^{qx},07^{liv} à l'état sec.
— B.	225 ,94 —	93 ,91 —

Le 21 août, je semai du colza d'été sur le sol où je venais de récolter le chanvre, et je l'anéantis le 17 septembre ; le 19, je fis un second semis de plantes-pièges ; la destruction en fut opérée le 2 no-

vembre, et le même jour fut fait le labour d'ensemencement pour la betterave. Le 6 avril 1886, je semai les parcelles A et B en betteraves riches, avec fumure de 30 livres d'azote et 40 livres d'acide phosphorique soluble par journal. Le démariage eut lieu le 25 mai. Ces betteraves reçurent 4 binages et se développèrent très bien sur les deux parcelles. La récolte se fit le 21 octobre; des recherches soigneuses n'y montrèrent que des nématodes rares et isolés. Quant au rendement, il fut, pour les racines nettoyées et étêtées:

Parcelle A. . . .	4 131	kilogr. par 10 ares, soit	210qx,93liv	par journal.
— B. . . .	3 576	— —	182 ,59	—

Têtes et feuilles représentaient :

A	2 395	kilogr. par 10 ares, soit	122qx,29liv	par journal.
B	2 210	— —	112 ,84	—

L'analyse donna les résultats suivants :

	A	B
Poids spécifique	1,081	1,079
Degré Brix	19°50	19°00
Sucre du jus p. 100	17.62	16.85
Non-sucre p. 100	1.88	2.15
Coefficient de pureté	90.01	88.68

Ainsi, la récolte fut supérieure comme quantité et comme qualité, et, puisque les nématodes étaient réduits à presque rien, il semble que ce procédé offre la résolution du problème, — à condition que les faits se confirment plus tard par son emploi sur une plus grande échelle : c'est ce que décideront d'ailleurs d'autres recherches qui seront commencées au printemps de 1887. Si cette confirmation nous est acquise, le retour de récoltes normales est possible sans sacrifices financiers. Les résultats des recherches que nous venons de décrire ont été obtenus sur un bon sol moyen ordinaire, formé d'argile diluvienne contenant 3 p. 100 d'humus, c'est-à-dire sur un sol qui n'était nullement de qualité supérieure, et qui n'aurait guère que le n° 4 dans la classification des terres d'après leur richesse. Ces résultats donnent un rendement brut qui couvre toutes les dépenses

de fermage, d'engrais, de travail, et même laisse un bénéfice aussi élevé que celui fourni par les céréales dans les meilleures conjonctures. Le chanvre séché, mais non roui, vaut actuellement 18 marks les 100 kilogr. ; pour un rendement de seulement 30 quintaux (1500 kilogr.) par journal et par an, cela fait 270 marks ; or, l'importance de l'importation du chanvre assure un débouché durable à cette production par le pays.

(Traduit de l'allemand par M. BLANCHARD, *répétiteur à l'École nationale de Grignon.*)

INSTRUCTIONS

POUR COMBATTRE

LES NÉMATODES DE LA BETTERAVE

Par le Dr J. KUHN

Les résultats de nos recherches ne laissent aucun doute sur la possibilité de combattre les nématodes au moyen de plantes-pièges et la destruction de celles-ci à l'aide d'instruments mus par des chevaux; mais ce procédé, s'il n'est pas exécuté d'une façon correcte, peut aussi facilement conduire à un résultat tout opposé à celui que l'on poursuit, c'est-à-dire amener la multiplication des nématodes; aussi me paraît-il nécessaire de réunir sous forme d'instructions les règles qui ressortent de mes études. Des expériences ultérieures nous indiqueront les perfectionnements à y apporter.

1. On doit, en premier lieu, chercher à empêcher l'extension des nématodes.

a) Attendu qu'il y a toujours lieu de craindre les parasites, même quand ils semblent faire défaut, on se fera une loi inviolable de ne pas porter de composts sur les champs de betteraves; on emploiera ces composts à la fumure des prairies ou de tout champ non utilisé pour la culture de la betterave.

b) On mélangera de chaux caustique à 6 : 1 tous les déchets de betteraves nématodées, mais quand on doit les porter, comme il est toujours bon de le faire, sur des champs qui ne seront pas semés en betteraves.

c) On évitera soigneusement l'importation des nématodes par le fumier d'étable. Les parasites ingérés périssent, mais il faut compter

avec les restes qui se mélangent aux déjections ; aussi recommanderai-je très instamment de ne donner au bétail les betteraves trop inférieures pour être travaillées à l'usine, ainsi que les déchets nématodés, qu'au moment où l'on fait le fumier qui doit servir aux champs non cultivés en betteraves. On pourrait aussi soumettre ces déchets à la cuisson par la vapeur.

d) On évitera soigneusement l'importation des nématodes par les graines de betterave. Les betteraves gardées pour la graine seront empruntées aux champs qui sont encore exempts du parasite.

e) On évitera aussi la même importation par les attelages et les instruments aratoires si l'on s'en est servi sur un champ nématodé, on nettoiera les sabots et les onglons des animaux, et l'on débarrassera de toute la terre qui leur adhère, les charrues, herses, etc.

f) Il faut aussi songer que les nématodes peuvent être entraînés par la pluie et la rosée ; aussi disposera-t-on les canaux de telle sorte qu'ils ne puissent amener le parasite à des champs situés en aval, et dans lesquels on n'en a pas encore trouvé.

2. Sur les champs fortement attaqués (les champs fatigués de betteraves, comme on les appelle) 4 semis de plantes-pièges se suivant dans la même année seront nécessaires pour arriver à un résultat sérieux et pour remettre le sol dans son état normal de productivité. La perte d'une année de revenu et les frais qu'entraîne la destruction des plantes-pièges peuvent être couverts, dans un sol très fatigué de betteraves, par le rendement plus élevé de la récolte de ces racines. L'effet d'un ou de deux semis de plantes-pièges dans le chaume du blé qui suit la betterave, est à peu près nul.

3. La plante-piège la plus sûre est le colza d'été (*Brassica rapa oleifera annua Metzg.*).

4. Quand la destruction des plantes-pièges doit être opérée au moyen d'instruments mus par des chevaux, il faut semer le colza plus dru, soit environ 38 kilogr. à l'hectare.

5. Le moment le plus convenable pour le 1er semis est le mois d'avril, des premiers jours aux derniers, à 4 ou 5 reprises ; cela permet de tirer meilleur parti de la force de traction au moment de la destruction des plantes-pièges.

6. Les semis suivent aussi vite que possible les arrachages. Si l'on

arrive à temps, en septembre, pour un 5e semis, on ne manquera pas de profiter de l'occasion.

7. Pour déterminer le moment le plus favorable à l'anéantissement des plantes-pièges, il faut avoir égard aux considérations suivantes :

a) Les larves qui se trouvent dans le sol conservent l'aspect vermiforme de l'embryon, tel que le montre, à un grossissement de 90 p. 1, la figure 1 ; elles ressemblent alors aux anguillules de l'humus, dont on les distinguera cependant facilement, grâce au stylet buccal, dont un fort grossissement, comme celui de la figure 2, montre la forme acérée.

b) Lorsque les larves sont implantées dans les radicelles d'une plante, elles se montrent encore, dans les premiers temps, sous la forme de ver, et ne se laissent alors que difficilement deviner dans la radicelle, si l'on n'emploie des réactifs appropriés ; mais, si l'on plonge la plante dans une solution d'iode, les larves se colorent en jaune intense, et se voient alors facilement ; leur recherche à cette période offre de grandes difficultés pour le simple praticien agricole.

c) Bientôt, les larves qui se trouvent dans les racines commencent à changer de forme ; tout d'abord, l'extrémité caudale, primitivement pointue, s'arrondit ; toutefois l'apparence vermiforme subsiste encore ; ce n'est qu'à la période suivante, que tout le corps se gonfle en forme de bouteille, l'extrémité antérieure restant seule peu changée. A cet état, les vers sont encore complètement inclus dans la racine, de sorte qu'il est encore assez difficile de les voir ; mais comme, en raison de leur gonflement, ils soulèvent la légère couche de tissu qui les recouvrent, les racines présentent des inégalités, des bosses allongées, comme le montre la figure 3. — Il ne faut pas prendre pour ces bosselures les nœuds qui sont l'origine de nouveaux rameaux de la racine ; là où ces nouveaux rameaux s'ébauchent, il existe bien une légère élévation, mais elle est tout de suite hémisphérique (et non allongée suivant la direction de l'axe radical), et, plus tard, elle prend la forme de cône émoussé ; d'autre part, un grossissement un peu fort montre sa structure particulière, avec ses petites cellules.

d) En poursuivant son développement, la larve s'arrondit de plus

en plus, do façon à acquérir, chez le mâle, la forme de bouteille, et, chez la femelle, un aspect plus piriforme. Par suite de cet accroissement, la couche de tissu radiculaire se rompt, et la larve sort en avançant d'abord au dehors sa partie postérieure ; ceci est surtout remarquable pour les femelles, mais a lieu aussi pour les mâles.

A cette période, un faible grossissement permet déjà de distinguer facilement les deux sexes ; chez les larves mâles, on voit plus ou moins nettement, à l'intérieur de l'animal, des cloisons longitudinales ; le mâle, long et grêle, se forme dans la peau de la larve ; lorsqu'il est arrivé à son complet développement, on le reconnaît à ses replis. La figure 4 montre la larve femellle, piriforme, avec l'extrémité postérieure libre et proéminente ; la figure 7 représente une larve mâle avec ses lignes longitudinales intérieures ; enfin, la figure 8 est celle d'un mâle complètement formé dans la peau de la larve.

e) Quand l'animal est arrivé à sa maturité sexuelle, il abandonne la peau de la larve pour se mettre en quête de la femelle, et se reproduire. A cette période, les femelles se reconnaissent à l'œil nu ; elles se présentent sous forme d'un très petit point blanc, que l'on doit se garder de confondre avec les petits grains de quartz. — La fécondation opérée, le corps des femelles se gonfle et se distend en raison de la masse considérable d'œufs qu'il renferme, masse dont le volume s'accroît continuellement ; c'est alors surtout, quand les dimensions de l'animal ont atteint 1 millimètre environ, qu'il faut se défier de l'apparence de quartz laiteux ; il est un moyen simple de se tirer vite d'embarras, c'est d'essayer sous l'ongle la dureté du petit grain.

La figure 9 montre un mâle libre, à un grossissement de 200 diamètres ; la figure 5 représente une femelle à maturité sexsuelle ; la figure 6, une femelle contenant des œufs ; la figure 10, les œufs à différents états de développement, tels qu'ils sortent d'une femelle pleine que l'on écrase. La figure 6 étant dessinée avec le même grossissement (90 p. 1) que la figure 5, leur comparaison fait voir dans quelles proportions la taille des femelles s'accroît, de la maturité sexuelle au moment où elles sont fécondées.

f) La durée du développement des nématodes varie avec le temps

qu'il fait ; elle est d'autant plus réduite que la température est plus élevée. Il en résulte qu'il est nécessaire, à partir du 10e jour après le commencement de la levée des plantes-pièges, de rechercher le parasite. Si l'on n'aperçoit encore aucune bosselure sur les radicelles, il est inutile de recommencer le lendemain ; mais dès qu'on en trouve, il faut, chaque jour, arracher de nouvelles plantes pour les examiner. On aura soin, en les arrachant, d'avoir autant que possible toutes les radicelles et de ne pas secouer les particules de terre qui y sont adhérentes ; on les apportera ainsi au micrographe. Celui-ci prend une plante, et après en avoir coupé la partie feuillue, pose la racine sur le porte-objet ; là, il l'arrose doucement avec la pissette ; de la sorte, les particules de terre sont entraînées, et la surface des radicelles devient nette. On recouvre alors d'une lamelle : comme un grossissement de 70 à 90 diamètres suffit pour les recherches courantes, la distance de l'objectif à l'objet reste assez forte, et l'on peut se servir, en guise de lamelle, d'une plaque ordinaire.

Pour être sûr de trouver les larves arrivées à leur maximum de développement, larves qui sont les seules à prendre en considération pour juger du moment propre à la destruction des plantes-pièges, il ne faut pas s'arrêter à l'examen des racines de quelques plantes seulement, il faut en prendre chaque fois un certain nombre, au moins de 20 à 30. Il est bon de s'attaquer à des plants arrivés à divers degrés de développement et à des tailles différentes, surtout à ceux qui, tout en étant le plus avancés, sont restés en arrière sous le rapport de la taille.

g) Le moment le plus propice pour la destruction des plantes-pièges est venu quand les bosselures que nous avons décrites (*c*) se voient en grand nombre sur les racines et que quelques larves sont déjà entrées dans la période caractérisée en *d*), sans cependant que la formation du mâle dans la peau de la larve soit achevée. Dès que l'on aperçoit, chez les larves mâles les plus avancées dans leur développement, des différenciations internes nettes, par apparition des lignes longitudinales mentionnées plus haut, et dès que les larves femelles se laissent nettement reconnaître à leur aspect piriforme (fig. 4), il faut immédiatement commencer la destruction, et la mener aussi rapidement que possible.

h) Il faut avoir égard à ce que l'immigration des larves dans les racines, ainsi que leur développement dans l'intérieur de celles-ci ne se font pas d'une manière uniforme; on trouve, quand déjà le moment le plus favorable pour l'anéantissement des plantes-pièges est passé, des larves encore libres dans le sol, ou bien qui pénètrent seulement dans les radicelles, hors desquelles se voit encore leur extrémité caudale effilée. Or, si l'on entreprend la destruction de trop bonne heure, le résultat est incomplet, mais, si l'on s'y résout trop tard, les mâles abandonnent la peau des larves, fécondent les femelles, et celles-ci, malgré la destruction des plantes-pièges, engendrent une nombreuse descendance. Cette destruction doit donc avoir lieu, pour éviter ces deux inconvénients, lorsque les larves les mieux développées se montrent à l'état le plus avancé que l'on puisse admettre. Cela se reconnaît sûrement chez les mâles, et a lieu quand leur formation à l'intérieur de la peau de la larve n'est pas encore complètement terminée, mais est arrivée au point où l'on commence à discerner la forme d'un ver grêle replié sur lui-même (fig. 7). Celles des larves qui n'ont pas encore pénétré dans les racines, ou qui, au moment de la destruction de leurs plantes nourricières ne se sont pas encore transformées et sont, par conséquent, encore mobiles, seront anéanties par le 2e semis.

8. Lorsque le moment le plus favorable pour la destruction des plantes-pièges est venu, on la commence de suite, quelque temps qu'il fasse. Le temps sec favorise l'opération, parce que les plantes se fanent aussitôt; mais la pluie ne doit pas l'empêcher, car peu de jours suffisent pour que l'état de développement favorable soit dépassé. Si donc l'on a affaire à une période pluvieuse, il vaut toujours mieux saisir la première éclaircie, alors même que sur les racines déjà couvertes de nombreux renflements, les larves ne se présenteraient pas encore à l'état de développement que nous avons indiqué au paragraphe 7.

9. Pour anéantir les plantes-pièges, on suivra la méthode suivante. Tout d'abord, on passera sur le champ une houe dont les couteaux, bien aiguisés, seront assez rapprochés pour que leur coupant entaille bien toute la surface. Il est d'ailleurs indifférent que les plantes soient réellement coupées, ou bien simplement arrachées. Les cou-

teaux ne doivent pénétrer qu'à une faible profondeur, environ 3 centimètres. Comme en certains endroits, par exemple dans les empreintes des pieds des bêtes de trait, les plantes se trouvent à un niveau un peu inférieur, et ne sont pas atteintes par les couteaux, on fait passer la houe une seconde fois, dans une direction transverse à la 1re, et à une profondeur d'environ 5 centimètres. Il faut éviter, autant que possible, qu'il ne se forme un amas de plantes devant les couteaux, auquel cas, il faut arrêter l'instrument et le débarrasser de l'obstacle. Ce premier travail terminé, on herse le champ, puis on le laisse en repos jusqu'au lendemain. Par un temps sec, les plantes coupées ou arrachées se fanent fortement ; mais, là où les plantes ont échappé à l'action de la houe, elles se font remarquer par leur fraîcheur ; quand le temps est humide, leur aspect est encore plus vert : on fait parcourir le champ par quelques femmes munies de houes à main pour les enlever. Ensuite, on laboure à la fouilleuse, on herse, et l'on fouille une seconde fois, dans un sens perpendiculaire au premier, et en employant des socs d'une forme particulière. Ces socs ont une longueur de 38 centimètres, sont recourbés transversalement comme une main, et leur courbure s'élargit en dessous, pendant que la pointe du soc se recourbe en avant. De la sorte, on a, à la partie inférieure, un tranchant parabolique, dont les extrémités sont éloignées l'une de l'autre de 10^{cm},5, et dont la ligne de courbure a 19 centimètres. Comme les socs sont répartis sur 4 traverses de telle sorte que leurs axes sont espacés de 10 centimètres, toute la superficie du champ se trouve atteinte ; le sol est rendu tellement poreux et friable par la partie supérieure des socs, que les racines des plantes sont toutes brisées, et complètement dérangées ; l'instrument atteint admirablement ce but à une profondeur de 18 centimètres. — Après les deux coups de fouilleuse, on herse encore une fois, puis on laboure en sillons étroits, de 15 centimètres de large au plus, et de 25 centimètres de profondeur, en employant toujours une charrue munie d'une rasette travaillant à une profondeur de 10 centimètres. Cette rasette jette dans la raie toutes les plantes qui se trouvent sur le haut du sillon, et les recouvre d'une couche de terre si épaisse, que, s'il leur reste encore quelque peu d'activité vitale, celle-ci est bientôt étouffée. Par un temps sec et

ensoleillé, tout meurt avant le passage de la charrue ; par un temps humide, il reste des plantes qui conservent leur fraîcheur; il faut cependant les enterrer par le labour, car elles périssent suffisamment vite dans leur sillon, du moment que leurs racines ne sont plus en connexion avec la terre. Sans les opérations précitées (section des racines et déracinage au moyen de la fouilleuse), la mort des plantes enfouies sans être encore flétries ne serait pas aussi rapide.

Autant que possible, le nouveau semis suivra immédiatement le labour. Quand les plantes se développent à une hauteur très grande, le bourrage de la herse se produit souvent et l'emploi de la fouilleuse devient difficile; en pareil cas, on s'efforcera de débarrasser la herse; on se servira pour cela d'une fourche.

10. Dans les premiers semis de plantes-pièges, il n'est pas difficile de constater, au moyen du microscope, la présence des larves, lorsqu'elles commencent à se gonfler. Dans les semis suivants, leur nombre est tellement diminué, que la détermination du moment favorable pour commencer l'œuvre de destruction devient chose fort peu commode. On prend alors pour guide l'état de développement des plantes, pourvu que ce soit, ce qui vaut d'ailleurs le mieux, du colza d'été. Lorsque la 4ᵉ feuille, sans compter les cotylédons, est passablement développée, et que la 5ᵉ apparaît, c'est le moment le meilleur pour entreprendre la destruction de la récolte. Si les premiers bourgeons sont déjà reconnaissables, il faut se presser. Je m'empresse d'ajouter que la recherche au microscope est toujours préférable, et que l'expédient que je viens de mentionner ne doit être mis en pratique que dans le cas où cette recherche faite sur un grand nombre de racines n'a donné aucun résultat, et que cependant l'état de développement des plantes indique qu'il est grand temps de commencer.

Il est aussi un fait à ne pas oublier, c'est que les larves de nématodes aiment à abandonner le lieu de leur naissance, et qu'elles ont la faculté d'émigrer fort loin; en conséquence, on ne limitera pas les plantes-pièges à une partie de la sole, on sèmera celle-ci tout entière. Si cependant, on se trouve dans la nécessité de n'en semer qu'une fraction, on l'entourera, la 1ʳᵉ et aussi la 2ᵉ année, d'un fossé suffisamment profond; cet isolement doit être effectué aussi dans le

cas où, la seconde année, on sème des plantes-pièges dans un champ contigu à celui de l'année précédente ; il en sera de même encore quand deux surfaces nématodées se touchent et que l'on n'opère d'abord que sur l'une d'elles. Le fossé aura au moins $0^m,70$ et mieux encore $0^m,90$ de profondeur, et $0^m,50$ de large sur le fond. On jette le déblai du côté opposé au champ, de sorte que les plantes-pièges viennent jusqu'au bord du fossé. On recouvre le fond de celui-ci de chaux vive que l'on renouvelle de temps en temps, surtout quand la saison est pluvieuse. — Quand la pièce contiguë à celle actuellement semée a été désinfectée à son tour, on remplit le fossé avec de la terre exempte de nématodes. On détruira les herbes qui croîtront sur les parois.

12. Si, après une année consacrée à la culture des plantes-pièges, on fait de suite des betteraves, on ne donnera, avec la même quantité d'acide phosphorique, que la moitié au plus de celle d'azote qu'on a l'habitude d'apporter.

13. Si l'on ne veut pas perdre une année tout entière de rente, on cultive deux années de suite du chanvre à filer, et alors on fait au printemps, avant le chanvre, un semis de plantes-pièges, et en automne, après la récolte, deux autres semis de ces dernières. Le 1er semis doit être fait dans les derniers jours de mars ou dans les premiers jours d'avril. Les semailles du chanvre doivent suivre immédiatement la destruction des plantes-pièges ; l'arrachage se fait au moment de la floraison des pieds mâles; femelles et mâles sont d'ailleurs également arrachés et immédiatement sortis du champ pour qu'on puisse, tout de suite, labourer pour les plantes-pièges. On opère de la même façon la 2e année. Le chanvre doit être sarclé au moment où la ravenelle qui lui est mêlée, a sa quatrième feuille, alors que la cinquième commence à sortir.

N. B. — Bien que les résultats que nous avons obtenus dans notre première étude soient excellents, ce procédé devra cependant être vérifié en grand.

14. Il faut bien avoir à l'esprit que, grâce aux plantes-pièges, les nématodes sont tellement réduits qu'ils ne sont plus dangereux, mais qu'ils ne sont pas complètement exterminés. Même lorsque les champignons parasites viennent nous aider dans cette lutte, on doit tou-

jours veiller à se préserver d'un nouvel envahissement ; pour cela, on emploiera les moyens dont nous allons parler maintenant.

a) Une plante excellente pour cet objet est la betterave elle-même. Pour l'utiliser dans ce sens, on sème une forte quantité de graine (40 kilogr. à l'hectare), et l'on éclaircit de façon à avoir des lignes espacées de 14 pouces, 3 ou 4 semaines après la levée, suivant la plus ou moins grande rapidité du développement. On extermine de la sorte beaucoup de nématodes. Il n'est pas nécessaire de détruire les plantes arrachées, mais il est bon de les disperser le plus possible, parce que, si on les laisse en tas, elles restent plus longtemps fraîches, et les nématodes pourraient y atteindre un développement plus avancé.

b) Après les betteraves on cultive sur un sol jadis riche en nématodes mais actuellement désinfecté par les plantes-pièges, telles plantes que les nématodes aiment peu ou pas du tout et dont la durée de végétation est assez courte pour permettre de faire sur leur chaume une plante-piège d'automne. Parmi les céréales, il faut préférer au blé d'hiver et à l'avoine, l'orge, qui peut, sans difficulté, se succéder à elle-même. Le chanvre, le lin, l'œillette et les pois sont aussi à considérer. Sur les terres en question, il faut d'ailleurs, constamment, se défendre par des sarclages contre la venue d'herbes hébergeant les nématodes, comme la ravenelle, la moutarde des prés, la nielle, le *Chenopodium album*. Les plantes indiquées plus haut (chanvre, etc.) quittent le sol assez à temps pour qu'on puisse faire sur leur chaume un semis de plantes-pièges ; ceci n'est pas le cas pour la chicorée et le trèfle ; leur culture est donc moins à recommander, quoiqu'ils appartiennent au groupe de plantes auxquelles les nématodes ne vont pas.

15. Dans le cas où le colza d'été semé sur chaume est mal venu, on détermine le moment de la destruction des plantes-pièges d'automne d'après l'état de développement des larves sur les plantes levées les premières, que ce soit des céréales, ou de la moutarde des prés ou de la ravenelle, ou quelques plants de colza levés plus tôt. Dans le labour des plantes semées dans le chaume, on n'omettra pas l'emploi de la fouilleuse et de la rasette.

16. Quand un champ jadis nématodé est revenu à sa fécondité

normale pour la betterave, et que, d'autre part, les nématodes restés dans le sol ont été, dans la suite, diminués de nombre autant que possible, il y a encore à se rappeler qu'on ne peut arriver à se débarrasser complètement des parasites, et que le danger d'une multiplication nouvelle subsiste toujours; aussi ne faut-il pas cesser les mesures indiquées aux paragraphes 14 et 15.

EXPLICATION DES FIGURES

Fig. 1. — Embryon de nématode grossi 90 fois.

Fig. 2. — Extrémité antérieure du petit ver à un grossissement de 420 diamètres pour montrer l'aiguillon buccal caractéristique.

Fig. 3. — Radicelle d'une plante-piège (colza), avec une élévation allongée sous laquelle se trouve une larve gonflée. Grossi 90 fois.

Fig. 4. — Larve femelle un peu développée. Grossi 90 fois.

Fig. 5. — Femelle arrivée à maturité sexuelle, peu après la fécondation (à l'origine de la formation des œufs). Grossi 90 fois.

Fig. 6. — Femelle pleine de nombreux œufs. Grossi 90 fois.

Fig. 7. — Larve mâle au commencement de la différenciation de son contenu; les lignes longitudinales internes apparaissent. Grossi 90 fois.

Fig. 8. — Mâle développé, encore dans la peau de la larve. Grossi 200 fois.
K, extrémité antérieure, avec l'aiguillon buccal.
S, extrémité caudale, avec l'organe sexuel.

Fig. 9. — Mâle libre. Grossi 200 fois.

Fig. 10. — Œufs : *a*) Avant la segmentation.
b) Au commencement de la segmentation.
c) Avec l'embryon développé. Grossi 200 fois.

La destruction des plantes-pièges doit commencer quand de nombreuses bosselures paraissent sur les radicelles (fig. 3), et que les larves les mieux développées sont entrées dans la période d'achèvement (fig. 4 et 7). L'état de développement représenté par les figures 5 et 8 est déjà trop avancé pour la destruction des plantes-pièges; les mâles libres, comme dans la figure 7, et les femelles pleines d'œufs, comme dans la figure 6, amènent une prompte multiplication.

Demande de crédits en Allemagne pour la lutte contre le nématode de la betterave.

Les ravages causés en Allemagne par l'*Heterodera Schachtii* ont atteint, cette année encore, des proportions considérables en certaines régions ; le *Landwirthschaftliche Presse* cite un cultivateur de Schwaneberg, près Egeln, M. Dietrich, qui a dû laisser en jachère 200 hectares, et en faire retourner 20 autres, sur lesquels le développement de la betterave s'était trouvé très gravement compromis par les attaques du parasite. Le même journal nous apprend que, afin d'agir avec la plus grande énergie contre l'extension du mal, la Société sucrière de Halle et des environs a décidé, dans sa réunion générale du 20 octobre, de demander au Ministre de l'agriculture d'affecter à la destruction du parasite, des crédits suffisants, et d'attacher, dans la province de Saxe, un professeur compétent à une station agronomique pour s'occuper spécialement de la question.

(Traduit de l'allemand par M. BLANCHARD, *répétiteur à l'École nationale de Grignon.*)

NOTE SUR LES TRAVAUX

EXÉCUTÉS PAR

LA STATION DE RECHERCHES ET D'EXPÉRIENCES

INSTITUÉE A L'ÉCOLE FORESTIÈRE DE NANCY

RELATIVEMENT

A L'INFLUENCE DES ÉCLAIRCIES

Par M. BARTET

INSPECTEUR ADJOINT DES FORÊTS A NANCY

I. — BUT ET PROGRAMME DES RECHERCHES

Les éclaircies constituent la base du traitement des forêts exploitées par la méthode dite du réensemencement naturel et des éclaircies, car ce sont les seules coupes que les peuplements aient à subir depuis l'état de *bas perchis* ou même de *gaulis* jusqu'à l'époque de leur régénération, c'est-à-dire pendant les trois quarts au moins de leur existence. Il serait donc désirable que l'on connût exactement le rôle joué par des opérations culturales aussi importantes.

Pour sommaires qu'elles soient, ces considérations suffisent, semble-t-il, à expliquer que dès la première année de sa création, la station de recherches et d'expériences, instituée à Nancy par l'arrêté ministériel du 27 février 1882[1], ait mis à l'étude la *question des éclaircies dans les forêts traitées en futaie régulière,* autrement dit, *dans*

1. Cette station, établie avec le concours des professeurs de l'École nationale forestière, est placée sous l'autorité du Directeur de ladite école.

les peuplements formés de tiges de franc pied ayant sensiblement le même âge.

Mais le mot éclaircie ne désigne pas une opération mathématique, toujours identique à elle-même, car lorsqu'on se trouve en présence d'un massif, on peut l'éclaircir de manières fort différentes. Il est à remarquer, en outre, que les effets des éclaircies peuvent se manifester sur des éléments de nature diverse, sur le sol aussi bien que sur les peuplements, sur le grossissement des tiges et leur développement en hauteur, aussi bien que sur leur accroissement en volume et sur la qualité des bois.

Envisagé sous tous ses aspects, le problème des éclaircies serait donc extrêmement complexe. Pour en aborder l'étude avec fruit, il a paru nécessaire non seulement de bien définir le genre d'éclaircie à opérer, mais encore de restreindre autant que possible le champ des constatations à effectuer par les expérimentateurs.

C'est ainsi qu'au lieu de donner à ces derniers la mission d'étudier à la fois tous les éléments susceptibles d'être modifiés par les éclaircies, on leur a prescrit de porter leur attention, sinon exclusivement, du moins principalement sur *les influences subies par l'acroissement en volume et la production ligneuse des peuplements.*

Quant à la nature des opérations d'éclaircie à exécuter dans ces peuplements, voici comment on a cru devoir la caractériser :

Laissant de côté les différences qui tiennent au sol, au climat, aux essences, on a considéré que les idées, fort divergentes, qui président en France à la conception des coupes d'éclaircie ont donné naissance à deux pratiques ou systèmes nettement opposés.

Dans le *premier système,* on se fonde sur ce fait que les sujets dominés sont fatalement voués à une disparition prématurée par l'effet de la lutte pour la vie ; on estime que, durant leur existence, ils épuisent le sol sans profit, ou du moins, sans compensation suffisante. Par suite, on les réalise, avant leur mort naturelle, au moyen d'enlèvements périodiques[1]. En somme, dans ce système, on pratique ce qu'on pourrait appeler *l'éclaircie par le bas.*

1. Ces extractions de tiges dominées ne comportent pas d'ailleurs l'enlèvement du sous-bois proprement dit, qui est une des formes de la couverture du sol et ne fait pas partie intégrante du peuplement.

Le *second système* procède d'une opinion toute contraire : ses promoteurs pensent que les tiges dominées ont une influence heureuse pour le maintien de la fraîcheur du sol; ils ajoutent qu'elles n'entravent pas, ou à peu près pas, la croissance des tiges dominantes, tandis que celles-ci, véritable avenir de la forêt, se gênent beaucoup entre elles. En conséquence, ils adoptent pour règle de desserrer l'étage dominant dans une mesure convenable, et de respecter tous les sujets dominés qui ne sont ni morts, ni mourants. C'est, en quelque sorte, une *éclaircie faite par le haut.*

Tels sont les deux modes d'éclaircie, bien différents l'un de l'autre, que la station a résolu d'étudier pratiquement, en observant leurs effets sur *l'accroissement et le rendement en matière des massifs de futaie d'un seul âge.*

Chacun de ces systèmes comporte des coupes plus ou moins fortes selon la qualité du sol, l'âge des peuplements et la nature des essences : c'est indéniable. Mais, fallait-il que, pour ce motif, la station réglementât à l'avance l'intensité des éclaircies, au risque de compliquer le programme des travaux en y faisant figurer des prescriptions fondées sur des nuances aussi difficiles à distinguer en théorie qu'à apprécier dans la pratique? Le comité chargé d'arrêter le plan d'exécution n'a pas été de cet avis. Estimant que l'intensité des exploitations serait suffisamment mise en relief par les comptes rendus pour qu'il fût toujours possible d'estimer à leur juste valeur les conditions spéciales à chaque opération, il a simplement décidé que les coupes seraient faites au mieux de l'intérêt des peuplements.

Il est clair d'ailleurs que, pour résoudre d'une manière satisfaisante le problème dont les termes viennent d'être précisés, il faudra se placer dans des conditions variées d'essences, d'âge, de sol et de climat, multiplier les places d'expériences pour chaque cas particulier, et enfin poursuivre les recherches pendant un laps de temps assez considérable : c'est seulement en agissant ainsi que l'on peut espérer aboutir à des *moyennes* vraiment dignes de foi.

Bien que renfermée dans des limites en apparence assez étroites, la tâche entreprise par la station n'est donc pas de celles qui se puissent mener à bonne fin en quelques années; elle ne saurait, non plus, être l'œuvre d'un seul, ni de quelques-uns seulement. Par la

force des choses, elle restera longtemps sur le chantier et il faudra, pour l'accomplir entièrement, le concours de beaucoup de bonnes volontés.

Aussi ne doit-on pas s'attendre à trouver dans la présente note une solution, même partielle, de la question énoncée plus haut. Les lignes qui suivent ne sont que l'exposé fidèle des opérations subies et des résultats fournis par une *place d'éclaircie*[1] dont le matériel vient d'être cubé pour la seconde fois, après une période de quatre années d'accroissement : c'est dire qu'en écrivant ce compte rendu, on a eu simplement pour but de donner un aperçu des travaux auxquels se livre la station de Nancy.

II. — EXÉCUTION DES RECHERCHES DANS LA PLACE D'ÉCLAIRCIE N° 1.

§ 1er. Installation et description de la place d'expérience.

La place d'éclaircie dont il s'agit a été installée au mois d'octobre 1882. C'était la première de l'espèce : on lui a, par suite, attribué le numéro 1.

Située sur le plateau de Haye, dans la forêt domaniale du même nom, elle occupe un terrain plat dont l'altitude peut être évaluée à 390 mètres.

La terre végétale, qui repose sur les calcaires de la grande oolithe, est formée par un diluvium argilo-siliceux, faiblement mélangé de chaux et de fer. Elle est profonde (0m,80 à 1 mètre), très perméable aux racines et de bonne qualité.

Agé de 36 ans au début des recherches (octobre 1882), le peuplement se présentait, à cette époque, sous la forme d'un gaulis serré et vigoureux, très voisin de l'état de bas perchis. Il était principalement composé de chênes rouvres, mélangés de hêtres et de charmes assez régulièrement répartis[2]. Malgré son origine artificielle

1. Par abréviation, nous disons *place d'éclaircie*, au lieu de *place d'expérience sur les éclaircies*.

2. Quoique l'existence de plusieurs essences dans les places de recherches soit de nature à rendre plus difficile l'interprétation des résultats, on a décidé que l'on opérerait indifféremment sur les peuplements mélangés ou purs, par ce motif que les peuplements mélangés sont ceux que l'on rencontre le plus souvent dans les forêts.

(il provient d'une plantation effectuée dans une ancienne pépinière), on l'a choisi pour une expérience à cause de sa grande homogénéité et de sa richesse en chêne.

Au-dessous du peuplement proprement dit se trouvait un sous-bois clair et chétif, de $0^m,50$ à $1^m,50$ de hauteur, et constitué par les essences chêne, hêtre, charme et coudrier.

Le procès-verbal d'installation mentionne encore ce fait, bon à signaler, que les hêtres commençaient à étaler leurs cimes au-dessus des chênes voisins, tandis que les charmes marchaient à peu près de pair avec les sujets de l'essence principale.

Pour adapter le peuplement aux recherches entreprises, on l'a subdivisé en trois compartiments ou placettes d'égale étendue, numérotées I, II, III, et destinées, savoir : la placette I, à subir l'éclaircie du premier système ; la placette II, celle du deuxième système ; la placette III, à jouer le rôle de *témoin* et à ne supporter aucune exploitation, si ce n'est l'enlèvement des tiges mortes, que l'on a jugé indispensable de recueillir pour calculer la production ligneuse du sol.

Afin d'éloigner les causes de trouble extérieures, on a eu soin de ménager, autour de chaque placette, une *zone* ou *bande d'isolement,* qui sera soumise au même traitement cultural que l'enceinte elle-même, mais qui restera en dehors des opérations d'inventaire.

Les placettes n'ont qu'une superficie de 16 ares 41 centiares chacune ; on n'a pas pu leur donner davantage (20 ou 25 ares, comme dans les autres places d'expériences) à cause de la surface restreinte du peuplement choisi, lequel est étroitement renfermé dans les limites de l'ancienne pépinière dont il occupe l'emplacement. Pour la même raison, les bandes d'isolement n'ont reçu qu'une largeur comprise entre 4 et 7 mètres, tandis que d'ordinaire cette dimension est portée à 10 mètres.

§ 2. Inventaire d'installation.

Une fois les trois placettes bien délimitées, on a procédé à l'inventaire du matériel sur pied dans chacune d'elles, en s'attachant à

faire ressortir : le *nombre des tiges de chaque essence*, leur *surface terrière* ou *transversale*[1] à $1^m,30$ au-dessus du sol, et leur volume.

De même que l'installation, le dénombrement date du mois d'octobre 1882.

Pour ranger les tiges en catégories d'après leur grosseur, on a choisi comme base la circonférence et non le diamètre parce que l'on a regardé la première de ces dimensions comme plus facile à mesurer exactement et plus susceptible de fournir des résultats comparables dans les dénombrements successifs qu'exigera la poursuite des recherches.

Les circonférences ont été prises à $1^m,30$ au-dessus du sol et mesurées avec des rubans en toile munis intérieurement de fils métalliques[2]. On les a inscrites de centimètre en centimètre sur les tableaux de dénombrement, en comptant comme une unité toute fraction égale ou supérieure à un demi-centimètre, et en négligeant les fractions moindres.

Pour la bonne exécution des expériences, il est évidemment indispensable que la circonférence de chaque tige soit toujours mesurée à la hauteur de $1^m,30$ et sur une section bien perpendiculaire à l'axe. Afin d'assurer cette condition, on a ceinturé à l'avance tous les fûts, avec de la couleur, à la distance du sol ci-dessus indiquée, après avoir débarrassé l'écorce des mousses et lichens capables de nuire à l'exactitude des mesurages ; on a ainsi obtenu des repères fixes devant servir de guides pour toutes les mensurations à effectuer.

Des chiffres de comptage et du calcul des surfaces terrières, on a tiré le petit tableau ci-après, qui indique, pour chaque placette, la proportion des essences établie d'après deux bases distinctes : le nombre des tiges et la surface terrière. En montrant que les hêtres étaient, dès le début des recherches, relativement plus gros que les chênes et les charmes, ce tableau confirme la tendance envahissante des hêtres déjà signalée à propos de la description du peuplement.

---

1. Pour une tige ou pour un arbre pris individuellement, la *surface transversale* ou *terrière* est celle du cercle mesurée à une hauteur déterminée au-dessus du sol, par exemple, $1^m,30$; pour un peuplement entier ou pour une essence quelconque d'un peuplement, c'est la somme des surfaces terrières de toutes les tiges de ce peuplement ou de tous les sujets de l'essence considérée.

2. Ces rubans, à peu près inextensibles, sont divisés en demi-centimètres.

Proportion des essences au début des recherches (octobre 1882).

BASE ADOPTÉE. 1	ESSENCES. 2	PLACETTE I. 3	PLACETTE II. 4	PLACETTE III. 5
		P. 100.	P. 100.	P. 100.
Nombre des tiges	Chêne	88	91	86
	Hêtre	7	6	10
	Charme	5	3	4
Surface terrière	Chêne	81	87	75
	Hêtre	14	10	21
	Charme	5	3	4

Les opérations de cubage ont suivi de près le dénombrement.

Avant de les entreprendre, on s'est demandé si, pour bien apprécier l'influence des deux systèmes d'éclaircie, il ne convenait pas d'adopter un certain classement des produits ligneux basé sur leur grosseur : il est à remarquer, en effet, qu'un même cube de bois peut se composer d'échantillons ayant un calibre fort variable et par suite une valeur technique fort inégale. Après examen de la question, on a pensé que, vu l'âge encore peu avancé du peuplement soumis aux recherches, on pouvait se borner à constituer les deux divisions suivantes ; 1° le *bois plein,* comprenant toutes les parties de la tige et des branches mesurant au moins 0m,20 de circonférence ; 2° le *menu bois,* renfermant toutes les parties d'une grosseur moindre[1].

Ce point établi, on a fait choix, pour le cubage des peuplements, d'un procédé très simple et n'exigeant pas une longue description, car il consiste dans l'emploi de tarifs spécialement construits pour la place d'expérience et donnant le *volume de la tige moyenne,* en bois plein, en menu bois et en cube total, pour toutes les catégories de grosseur du peuplement, depuis la plus faible jusqu'à la plus élevée.

Chacune des trois essences existantes (chêne, hêtre et charme) a

1. Fondé sur la démarcation qui existe dans la plupart des régions de France entre le bois de chauffage proprement dit et les menus bois de feu (charbonnette, fagots, bourrées), ce classement correspond à peu près exactement aux deux catégories de produits que les forestiers allemands distinguent dans leurs travaux d'expérimentation, savoir le *Derbholz* (bois de plus de 0m,07 de diamètre) et le *Reisholz* (bois de 0m,07 de diamètre et au-dessous).

été dotée d'un tarif distinct, que l'on a dressé au moyen des résultats fournis par des *tiges types* ou *tiges d'expérience* cubées après abatage[1], et qui est évidemment applicable aux trois placettes, puisque celles-ci sont couvertes d'un peuplement uniforme.

On a cubé chaque essence séparément, et pour cela, il a suffi de multiplier successivement le nombre des tiges des diverses catégories de grosseur par le chiffre correspondant du tarif.

Voici, rapportés à l'unité de surface, c'est-à-dire à l'hectare, les résultats complets de l'inventaire :

TABLEAU A. — Inventaire d'installation (octobre 1882).

NUMÉROS des placettes.	ESSENCES.	PAR HECTARE.				
		NOMBRE des tiges.	SURFACE terrière.	VOLUME en bois plein.	VOLUME en menu bois.	VOLUME TOTAL.
1	2	3	4	5	6	7
			mq	mc	mc	mc
I.	Chêne	2,855	19,46	115,1	37.5	152.6
	Hêtre	220	3.24	22,4	7,0	29.4
	Charme.	165	1.25	7.1	3.0	10,1
	TOTAUX. . .	3,240	23,95	144,6	47,5	192.1
II.	Chêne	3,849	21.66	112.4	48,7	161,1
	Hêtre	239	2,56	16.9	5.8	22,7
	Charme.	128	0.77	3.7	2,1	5.8
	TOTAUX. . .	4,215	24.99	133.0	56.6	189.6
III.	Chêne	3.184	17,34	91.4	38.5	129.9
	Hêtre	366	4.76	32,6	10,7	43.3
	Charme.	134	1,00	5,3	2.6	7,9
	TOTAUX. . .	3.684	23,10	129,3	51.8	181,1

OBSERVATIONS. — Quelle que soit la surface des places d'expériences, la station rapporte toujours les résultats à l'hectare, afin de faciliter les comparaisons.

---

1. Vu le nombre considérable des catégories de grosseur, c'est seulement pour quelques-unes d'entre elles, convenablement espacées, qu'il a été possible de déter-

Avant d'aller plus loin, il paraît bon d'utiliser les données du tableau qui précède pour en tirer une déduction utile à noter. En effet, si l'on néglige le matériel, certainement très minime, exploité dans la place d'expérience antérieurement au mois d'octobre 1882, et qu'on divise successivement les totaux de la colonne 7 par le nombre 36 (âge des bois), on obtient pour la production annuelle moyenne à l'hectare :

Placette I, un volume total .	$5^{mc},3$, dont	$4^{mc},0$ bois plein et	$1^{mc},3$ menu bois.
— II.	5 ,3 —	3 ,7 —	1 ,6 —
— III.	5 ,0 —	3 ,6 —	1 ,4 —

Ces chiffres, très peu différents les uns des autres, sont relativement élevés pour des peuplements où le chêne prédomine. Seront-ils modifiés par la diversité des traitements appliqués aux placettes ? C'est ce que montrera la suite de l'expérience.

§ 3. Première opération d'éclaircie.

Immédiatement après le cubage dont il vient d'être question, les placettes I et II ont subi, sous la direction du professeur d'économie forestière, une éclaircie faite respectivement selon les deux systèmes définis plus haut. En même temps, on a extrait de la placette III toutes les tiges mortes ou mourantes.

Mesurés sur pied et cubés à l'aide des tarifs employés pour l'inventaire d'installation, les sujets ainsi exploités ont donné lieu au relevé suivant :

---

miner *directement* le volume de la tige moyenne par le cubage d'arbres types et d'obtenir ce que l'on a appelé les *volumes moyens étalons* du tarif. Pour les autres catégories, on a dû recourir à des interpolations effectuées entre lesdits volumes étalons, proportionnellement aux surfaces terrières.

Les parties de bois plein contenues dans chaque tige type ont été cubées géométriquement, après décomposition en billons de 1 mètre de longueur assimilés à des cylindres droits ayant pour base la section du milieu.

Quant aux ramiers composant le menu bois, on en a formé de petits faisceaux dont on a déterminé le volume en adoptant un système mixte de pesées et d'immersion dans l'eau.

TABLEAU B. — Matériel enlevé par la première éclaircie (octobre 1882).

NUMÉROS des placettes.	ESSENCES.	PAR HECTARE.				
		NOMBRE des tiges.	SURFACE terrière.	VOLUME		
				en bois plein.	en menu bois.	TOTAL.
1	2	3	4	5	6	7
			mq	mc	mc	mc
I.	Chêne	885	2,80	6,3	10,1	16,4
	Hêtre	31	0,13	0,4	0,4	0,8
	Charme.	67	0,20	0,4	0,8	1,2
	TOTAUX. . .	983	3,13	7,1	11,3	18,4
II.	Chêne	775	3,82	18,3	9,3	27,6
	Hêtre	85	1,40	10,0	3,1	13,1
	Charme.	»	»	»	»	»
	TOTAUX. . .	860	5,22	28,3	12,4	40,7
III.	Chêne	97	0,14	»	0,8	0,8
	Hêtre	»	»	»	»	»
	Charme.	»	»	»	»	»
	TOTAUX.	97	0,14	»	0,8	0,8

OBSERVATIONS. — Abattus, puis transformés, d'une part, en bois de corde comprenant le bois plein, d'autre part en fagots renfermant le menu bois, les sujets faisant l'objet du présent tableau ont fourni, après façonnage, et par hectare, les produits ci-après : placette I, 15 stères et 323 fagots ; II, 41 stères et 351 fagots ; III, 12 fagots. (Dimensions des fagots : 1 mètre de tour et 1 mètre de long.)

Quant aux bois restant sur pied dans chaque placette, après l'éclaircie, en voici le détail :

TABLEAU.

TABLEAU C. — Matériel restant sur pied après l'éclaircie (octobre 1882).

NUMÉROS des placettes.	ESSENCES.	PAR HECTARE.				
		NOMBRE des tiges.	SURFACE terrière.	VOLUME en bois plein.	VOLUME en menu bois.	VOLUME TOTAL.
1	2	3	4	5	6	7
			mq	mc	mc	mc
I.	Chêne	1,970	16,66	108,8	27,4	136,2
	Hêtre	189	3,11	22,0	6,6	28,6
	Charme.	98	1,05	6,7	2,2	8,9
	Totaux. . .	2,257	20,82	137,5	36,2	173,7
II.	Chêne	3,074	17,84	94,1	39,4	133,5
	Hêtre	153	1,16	6,9	2,7	9,6
	Charme.	128	0,77	3,7	2,1	5,8
	Totaux. . .	3,355	19,77	104,7	44,2	148,9
III.	Chêne	3,087	17,20	91,4	37,7	129,1
	Hêtre	366	4,76	32,6	10,7	43,3
	Charme.	134	1,00	5,3	2,6	7,9
	Totaux . .	3,587	22,96	129,3	51,0	180,3

Un coup d'œil jeté sur le tableau B montre que l'éclaircie du deuxième système a fait disparaître un peu moins de tiges que celle du premier système. Par contre, elle a enlevé plus de volume et surtout beaucoup plus de bois plein. Cette inégalité s'explique par la nécessité d'abattre, dans la placette II, les hêtres dominants et les chênes de moyenne taille en vue de desserrer convenablement les meilleurs sujets de cette dernière essence [1].

A la réflexion qui précède, il serait facile d'ajouter d'autres remarques analogues si l'on croyait utile de faire ressortir les différences présentées par les opérations exécutées dans les trois placettes. Mais

1. On peut, sans erreur sensible, admettre que les chênes dégagés par l'éclaircie, comme sujets d'avenir, dans la placette II, sont ceux qui mesuraient $0^{m},35$ et plus de circonférence ; cette hypothèse, très voisine de la réalité, porte le nombre desdits chênes à 78 et leur espacement moyen à $4^{m},50$ environ.

ces différences, un examen rapide des trois tableaux A, B et C permettra à chacun de les saisir : leur énumération serait donc superflue.

Ce qu'il importe surtout de constater et de retenir, c'est qu'après l'éclaircie, la placette II s'est trouvée notablement moins riche que les deux autres en matériel total et surtout en hêtre : de 12 p. 100 qu'elle était à l'origine, la proportion en volume de cette essence s'est, en effet, abaissée à 6 p. 100 seulement.

§ 4. Deuxième inventaire.

A la fin du mois d'octobre 1886, on a jugé à propos de soumettre le peuplement de chacune des trois placettes à un deuxième inventaire qui a fourni les résultats suivants :

TABLEAU D. — Matériel sur pied lors du deuxième inventaire (octobre 1886).

NUMÉROS des placettes.	ESSENCES.	PAR HECTARE.				
		NOMBRE des tiges.	SURFACE terrière.	VOLUME		
				en bois plein.	en menu bois	TOTAL.
1	2	3	4	5	6	7
			mq	mc	mc	mc
I.	Chêne	1,970	18,55	123,8	29,4	153,2
	Hêtre	189	4,04	29,1	8,8	37,9
	Charme.	98	1,09	7,5	2,5	10,0
	TOTAUX. . .	2,257	23,78	160,4	40,7	201,1
II.	Chêne	3,074	19,57	108,0	41,2	149,2
	Hêtre	153	1,57	10,2	3,5	13,7
	Charme.	128	0,91	4,8	2,3	7,1
	TOTAUX. . .	3,355	22,05	123,0	47,0	170,0
III.	Chêne	3,087	18,60	103,1	39,2	142,3
	Hêtre	366	6,24	44,2	13,7	57,9
	Charme.	134	1,13	6,3	2,8	9,1
	TOTAUX. . .	3,587	25,97	153,6	55,7	209,3

Il est presque superflu d'ajouter que pour opérer le deuxième inventaire on a observé les mêmes précautions et la même méthode qu'en 1882; pour le cubage notamment, on a repris les tarifs dressés à cette époque, on les a de nouveau appliqués uniformément aux trois placettes, en se bornant à les compléter, d'après la règle des interpolations, pour les quelques catégories de grosseurs nouvelles, dues au développement des plus fortes tiges.

§ 5. Constatations diverses.

De simples soustractions portant sur les chiffres des colonnes 5, 6 et 7 des tableaux C et D, permettent de déterminer l'accroissement réalisé, sur *l'unité de surface,* par le peuplement de chaque placette, durant la période de quatre ans écoulée entre l'éclaircie et le deuxième inventaire. En divisant par 4 cet accroissement, appelé *périodique,* on a l'accroissement annuel moyen correspondant à ladite période, c'est-à-dire *l'accroissement annuel moyen périodique.*

On peut encore calculer un autre accroissement annuel moyen, en considérant les peuplements, non plus seulement à partir de l'éclaircie, mais bien depuis leur naissance, et en tenant compte des produits exploités dans l'opération de 1882 : c'est ce qu'on nommera *l'accroissement annuel moyen général.* Pour l'obtenir, il suffit d'ajouter le matériel enlevé par l'éclaircie (colonnes 5 à 7 du tableau B) au matériel constaté par le deuxième inventaire (colonnes 5 à 7 du tableau D), et de diviser la somme (ou accroissement *général*) par l'âge du peuplement à l'époque de cet inventaire, c'est-à-dire par $36 + 4 = 40$[1].

Ces deux sortes d'accroissement ont été placées en regard l'une de l'autre dans le double tableau qui suit :

---

1. Ce qui a été calculé page 408, sous le nom de production moyenne, n'est, on le voit, pas autre chose que l'accroissement annuel moyen général correspondant à l'âge de 36 ans.

Tableau E.

NUMÉROS des placettes. 1	ESSENCES. 2	ACCROISSEMENT périodique par hectare. Bois plein. 3	Menu bois. 4	Volume total. 5	ACCROISSEMENT GÉNÉRAL par hectare. Bois plein. 6	Menu bois. 7	Volume total. 8
		mc	mc	mc	mc	mc	mc
		1° Pour quatre ans.			*1° Pour quarante ans.*		
I.	Chêne	15,0	2,0	17,0	130,1	39,5	169,6
	Hêtre	7,1	2,2	9,3	29,5	9,2	38,7
	Charme	0,8	0,3	1,1	7,9	3,3	11,2
	TOTAUX	22,9	4,5	27,4	167,5	52,0	219,5
II.	Chêne	13,9	1,8	15,7	126,3	50,5	176,8
	Hêtre	3,3	0,8	4,1	20,2	6,6	26,8
	Charme	1,1	0,2	1,3	4,8	2,3	7,1
	TOTAUX	18,3	2,8	21,1	151,3	59,4	210,7
III.	Chêne	11,7	1,5	13,2	103,1	40,0	143,1
	Hêtre	11,6	3,0	14,6	44,2	13,7	57,9
	Charme	1,0	0,2	1,2	6,3	2,8	9,1
	TOTAUX	24,3	4,7	29,0	153,6	56,5	210,1
		2° Pour l'année moyenne.			*2° Pour l'année moyenne.*		
I.	Réunies	5,7	1,1	6,8	4,2	1,3	5,5
II.	—	4,6	0,7	5,3	3,8	1,5	5,3
III.	—	6,1	1,2	7,3	3,8	1,4	5,2

On trouvera enfin, réunis dans le cadre ci-après, les tant p. 100 ou *taux d'accroissement* en volume applicables à la période de quatre années qui a suivi l'éclaircie. Pour déterminer ces taux, on a déduit du tableau E (colonnes 3 à 5) les accroissements *annuels* moyens périodiques en bois plein, en menu bois, en volume total, et on les a successivement divisés par les volumes totaux restant sur pied après l'éclaircie, c'est-à-dire par les nombres de la colonne 7 du tableau C.

TABLEAU

TABLEAU F.

TAUX D'ACCROISSEMENT ANNUELS EN VOLUME					
NUMÉROS des placettes.	NATURE DU MATÉRIEL.	ESSENCES.			
		Chêne.	Hêtre.	Charme.	Réunies.
1	2	3	4	5	6
		P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
I.	Bois plein	2.7	6.2	2.3	3.3
	Menu bois	0.4	1.9	0.8	0.7
	Volume total . .	3.1	8.1	3.1	4.0
II.	Bois plein	2.6	8.6	4.7	3.1
	Menu bois	0.3	2.1	0.9	0.4
	Volume total . .	2.9	10.7	5.6	3.5
III.	Bois plein	2.3	6.7	3.2	3.4
	Menu bois	0.3	1.7	0.6	0.6
	Volume total . .	2.6	8.4	3.8	4.0

OBSERVATIONS. — Il a paru intéressant de calculer spécialement le taux d'accroissement pour les 78 chênes qui mesuraient $0^m,35$ de tour et plus, en 1882, dans la placette II. (Page 410 *ad notam.*) En comparant leur volume initial à celui des 78 plus gros sujets du deuxième inventaire, on a trouvé qu'ils s'étaient accrus à raison de 4.5 p. 100 chaque année. — Le même calcul effectué pour les chênes de $0^m,35$ et plus dans les placettes I et III, a donné respectivement les taux de 4.2 et 3.8. — Ces résultats méritent d'attirer l'attention.

Tirés d'une expérience unique et de bien courte durée, les chiffres des tableaux E et F ne sauraient évidemment être invoqués en faveur soit de l'un, soit de l'autre des deux systèmes d'éclaircie étudiés : toute conclusion générale doit donc être soigneusement écartée. Mais, sous bénéfice de cette réserve, il sera permis de constater :

1° Que dans les trois placettes l'accroissement annuel moyen périodique par hectare est égal ou supérieur à l'accroissement annuel moyen général calculé pour les âges de 36 et 40 ans (tableau E, colonnes 5 et 8) ;

2° Que pour l'accroissement annuel moyen périodique en bois plein, en menu bois et en matériel total des trois essences prises en bloc, la placette II a fourni des résultats inférieurs aux deux autres placettes (tableau E, colonnes 3, 4 et 5) ;

3° Qu'il en est de même pour le taux d'accroissement applicable au peuplement entier (tableau F, colonne 6);

4° Que pour le taux d'accroissement des chênes de tout calibre, la placette II vient avant la placette III, et un peu après la placette I (tableau F, colonne 3);

5° Qu'elle tient la tête pour le taux d'accroissement des deux autres essences (tableau F, colonnes 4 et 5), et aussi, chose très importante, *pour le taux spécial des chênes mesurant 0m,35 de tour en 1882,* c'est-à-dire des *chênes d'avenir* (même tableau, observation);

6° Enfin que, dans chaque placette, les hêtres ont eu une végétation beaucoup plus active que les sujets des deux autres essences, et que les chênes en particulier; car, en moyenne, ils se sont accrus au taux de 9 p. 100 et les chênes au taux de 3 p. 100 seulement (tableau F, colonnes 4 et 3), c'est-à-dire que, pour produire annuellement 1 mètre cube de chêne, il a falu 33 mètres cubes de capital ligneux, tandis que, pour donner naissance à la même production en hêtre, il a suffi de 11 mètres cubes.

Or on se souvient que le volume des hêtres restant sur pied après l'opération d'éclaircie dans la placette II était bien inférieur au cube des tiges de la même essence maintenues dans les deux autres placettes (voir tableau C et observations subséquentes). C'est à cette modification dans la proportion primitive des essences, c'est à cette circonstance, en somme fortuite et non inhérente au système d'éclaircie, qu'il faut principalement attribuer la faiblesse relative de l'accroissement annuel moyen périodique accusée par la placette II [1]. Mais si l'intervention de cette cause est très apparente, les limites assignables à son action sont, au contraire, fort incertaines; et l'on peut prévoir que pareille incertitude existera, à un degré plus ou moins grand, pour toutes les places d'éclaircie constituées, comme celle qui fait l'objet du présent mémoire, par un peuplement d'essences mélangées.

1. Assurément, cette infériorité tient aussi à ce que, abstraction faite de toute considération d'essences, la placette II s'est touvée réduite par l'éclaircie à un matériel producteur total de beaucoup plus faible que celui des deux autres placettes (voir p. 410).

ÉTUDE CHIMIQUE
DE L'OLIVIER

PAR

L. PAPARELLI

I

INTRODUCTION

1. Avant d'exposer les diverses recherches qui font l'objet de cette publication, j'ai le devoir d'exprimer mes plus sincères sentiments de reconnaissance à mon cher et illustre maître, *M. L. Grandeau,* qui, avec une affabilité et une affection tout à fait spéciales, a mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour des recherches scientifiques, et m'a prodigué de nombreux et savants conseils, autant pendant mon séjour à la Station agronomique de l'Est que dans ses savantes leçons de la Faculté des sciences de Nancy.

Aussi, si aujourd'hui je suis conduit à publier les résultats de ces recherches, je n'ai pas la prétention de présenter des choses nouvelles, ni l'intention de critiquer les recherches déjà faites par beaucoup d'autres, mais j'entends seulement comparer mes études plus complètes aux recherches incomplètes exécutées par d'autres.

Dans mes recherches, je me suis servi d'échantillons provenant du Latium (Italie) et qui avaient été prélevés selon les indications que j'avais données.

Les échantillons qui m'avaient été expédiés à Nancy étaient les suivants :

a) Terre de végétation ;

b) Bois d'olivier (grandes et petites branches) ;

c) Feuilles ;

d) Olives ;

e) Tourteaux.

Ils furent soumis à un examen chimique très soigné, ainsi qu'on pourra le voir plus tard dans les études qu'on va exposer.

Analyse complète de la terre de végétation.

2. Tant que l'on a regardé le sol comme un simple point d'appui du végétal, l'analyse chimique a été fort négligée, de sorte que l'on a considéré pendant longtemps l'état physique d'un sol comme la seule condition capable d'influer sur la végétation. Cependant aujourd'hui on ne pourrait pas nier le rôle de la composition chimique d'une terre, sur la production de bonnes récoltes.

Le simple examen de l'état physique du sol, quoique ayant une importance énorme au point de vue agricole, ne saurait jamais être suffisant pour nous renseigner sur les qualités de la terre en rapport avec les végétaux qu'elle doit porter.

D'autre part, la seule analyse chimique ne réussit pas à résoudre tous les problèmes agricoles ; mais lorsqu'elle est faite dans certaines conditions, elle nous éclaire sur beaucoup de sujets qui, sans elle, resteraient tout à fait inconnus.

Ainsi que l'a dit l'illustre M. Grandeau, dans son cours de la Faculté des sciences, l'analyse d'une terre peut nous renseigner utilement sur les points suivants :

a) Quantités relatives des principes assimilables et composition de la réserve du sol ;

b) Détermination des éléments nutritifs absents dans le sol ; nature des aliments à introduire (engrais et amendements) ;

c) Causes de la stérilité prochaine des sols arables, d'une façon absolue relativement à telle ou telle récolte.

De sorte que, pour avoir une moyenne sur le degré de fertilité d'une terre, il est nécessaire de faire les trois déterminations suivantes :

1° Analyse mécanique ;

2° Analyse physico-chimique ;

3° Analyse chimique de la terre fine.

Par ces déterminations, on est sûr de pouvoir guider le cultivateur dans ses entreprises.

3. La prise des échantillons de terre a été faite sur différents points du sol et autour des principales racines de la plante, de manière à avoir une moyenne aussi précise que possible.

Avant de procéder à toute détermination, la terre a été abandonnée à l'air libre, et remuée de temps en temps afin de lui faire perdre la plus grande partie de son eau hygrométrique.

4. Les trois analyses de la terre, dont nous donnons ci-dessous les résultats, ont été exécutées selon les excellentes méthodes exposées par M. Grandeau dans son *Traité d'analyse des matières agricoles*.

Analyse mécanique.

	p. 100.
Terre fine	93.50
Cailloux calcaires	5.30
— siliceux	1.20
	100.00

Analyse physico-chimique.

Eau	2.000
Sable	72.000
Calcaire	12.037
Argile	12.050
Matière noire	0.140
Débris organiques	1.773
Total	100.000

Analyse chimique.

Résidu insoluble (silice et silicates)	75.2000
Acide phosphorique	0.2752
Peroxyde de fer et alumine	6.8000
Chaux	6.8400
Magnésie	0.0800
Soude	0.0191
Potasse	0.1544
Eau	2.0000
Matières organiques (azote 0.1435)	3.0000
Acide sulfurique	0.0206
Acide carbonique	5.5100
Chlore	0.0018
Total	99.9311

5. En jetant un coup d'œil sur ce qui précède, on peut se former une idée exacte de la nature de la terre. Elle rentre dans le groupe des terres silico-argilo-calcaires. S'il fallait s'en tenir absolument à certains auteurs qui ont écrit que les oliviers croissent et produisent dans les terrains les plus stériles et par conséquent qu'on doit se passer de toute fumure, nous pourrions considérer ce terrain comme trop bon pour la culture de l'olivier.

Cependant, avant d'émettre des idées pareilles, il faudrait admettre que vraisemblablement seul, le pin maritime se contente de végéter dans le sable presque stérile et nous devons affirmer qu'un sol complètement stérile ne pourra jamais suffire à la vie d'aucune plante, même de celles qui sont le moins exigeantes.

A cet égard, je tiens à répéter les paroles d'une personne très compétente en cette matière, M. le professeur G. Caruzo, de l'Université de Pise.

« L'olivier, dit-il, aime un sol perméable et moyennement frais : perméable, pour que ses racines puissent s'étendre et pénétrer profondément dans le sol ; plutôt frais, afin qu'il puisse durer et résister à l'aridité et siccité. »

Pour cela, toutes les terres lui conviennent, excepté celles qui sont excessivement sèches, compactes et humides.

Il n'est donc pas vrai que l'olivier prospère dans toutes les terres, et qu'il préfère celles de qualité inférieure, ainsi que quelques agronomes l'ont dit.

D'autre part, il faut se persuader qu'il n'est pas avantageux du tout pour le cultivateur de consacrer à la culture des oliviers les terres les plus stériles : la quantité des olives récoltées sera toujours minime, et la qualité de l'huile qu'on en retirera, ne pourra être que très inférieure à celle obtenue par des oliviers bien entretenus.

6. Ainsi nous reconnaissons le sol analysé comme remplissant à peu près les conditions convenables à la culture de l'olivier ; mais il pourrait être considérablement amélioré et partant plus propre à cette culture, si on le fumait abondamment avec des engrais riches surtout en potasse, car il est reconnu depuis longtemps que cet arbre est très avide de potasse, qui en effet sert pour une très grande part à la formation de son bois, de ses feuilles et de ses fruits.

Nous reviendrons plus tard sur la fumure rationnelle de l'olivier.

Analyse des cendres du bois, des feuilles et des fruits de l'olivier.

7. Un échantillon du bois, des feuilles et des fruits représentant un poids déterminé a été incinéré séparément, dans un moufle à gaz, après avoir été desséché dans une étuve. Les cendres obtenues étaient blanches.

Pour l'analyse des cendres, on a suivi à peu près la méthode de Schlœsing, préférable à toutes les autres méthodes décrites jusqu'à présent pour le dosage des principes constituants des cendres des végétaux.

On a attaqué un poids déterminé de cendres par l'acide nitrique dans une capsule de platine et évaporé à sec au bain de sable pour rendre insoluble la silice.

Quand il ne se dégageait plus de vapeurs acides, on a repris et fait digérer avec du nitrate d'ammoniaque, on a chauffé de nouveau en ayant soin de ne pas vaporiser tout le nitrate.

On a repris par une petite quantité d'acide nitrique pour dissoudre tout le fer et on a décanté sur un filtre et lavé.

La *silice* et le *sable* restés sur le filtre ont été calcinés et pesés.

On a repris par du carbonate de soude bouillant, qui a dissous la silice et laissé intact le sable ; on a filtré, lavé, calciné et pesé, et l'on a calculé la silice par différence.

Le *fer* a été dosé à l'état de phosphate. Un volume donné de la liqueur azotique a été saturé par de l'ammoniaque, et additionné à chaud d'acétate d'ammoniaque. Le précipité de phosphate de fer a été filtré, lavé à l'eau chaude renfermant de l'acide acétique, calciné et pesé. On a eu ainsi tout le fer et une partie de l'*acide phosphorique*. Dans le but de doser la totalité de ce corps, on a précipité le reste d'acide phosphorique dans la liqueur filtrée, à l'aide d'acétate de fer.

On a réuni les deux précipités, qu'on a dissous dans l'acide chlorhydrique; on a séparé le fer et fait le dosage direct de l'acide phosphorique par le molybdate d'ammoniaque.

L'*acide sulfurique* a été dosé à l'état de sulfate de baryte.

L'*acide carbonique* a été déterminé directement par pesée, au moyen d'un des nombreux appareils imaginés pour ce dosage.

La *chaux*, précipitée par l'oxalate d'ammoniaque, a été pesée à l'état d'oxyde.

La *potasse* a été dosée à l'état de chloro-platinate, et la *soude* a été obtenue par différence. Le *chlore* a été déterminé par une liqueur titrée de nitrate d'argent.

Dans le poids de la *magnésie* est compris celui du *sesquioxyde de manganèse*, ce corps se trouvant en quantité trop petite pour être séparé.

8. Avant de présenter les résultats de l'analyse des cendres, je vais exposer dans les tableaux suivants la teneur en *eau* et *substance sèche* des divers échantillons, et le taux des *cendres* pour cent de matière première et pour cent de substance sèche.

DÉTERMINATIONS FAITES.	BOIS.		FEUILLES.	FRUITS.
	Grandes branches.	Petites branches.		
Eau	14.50	18.75	42.40	52.60
Substance sèche	85.50	81.25	57.60	47.40
Total . . .	100.00	100.00	100.00	100.00

Taux de cendres.

	BOIS.		FEUILLES.	FRUITS.
	Grandes branches.	Petites branches.		
P. 100 de matière première . .	0.9405	0.9625	2.5056	1.4220
P. 100 de substance sèche . .	1.1000	1.1400	4.3500	3.0000

Les cendres ainsi obtenues ont été analysées et ont donné les résultats suivants :

TABLEAU.

Composition des cendres, du bois, des feuilles et des fruits de l'olivier.

		SABLE.	ACIDE carbonique.	POTASSE.	SOUDE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	PEROXYDE de fer.	ACIDE phosphorique.	ACIDE sulfurique.	ACIDE silicique.	CHLORE.
Bois.	Grandes branches .	3.300	7.791	19.165	2.250	57.574	3.652	3.275	11.684	2.119	0.281	traces
	Petites branches . .	2.000	9.100	20.492	4.778	50.412	6.760	3.281	12.437	1.160	0.677	»
Feuilles		3.525	11.870	30.260	1.614	46.155	4.424	1.414	10.470	4.754	0.649	0.260
Fruits		1.600	8.493	60.744	2.225	16.282	3.770	0.096	8.334	1.104	5.670	1.581

9. Comme complément de l'analyse, on a dosé l'*azote* dans le bois et les feuilles, et l'on a remis le dosage des matières azotées des fruits pour le faire en même temps que l'analyse immédiate de ceux-ci.

Pour le bois et les feuilles, le taux d'azote a été ainsi réparti :

		P. 100 de matière première.	P. 100 de substance sèche.
Bois	Grandes branches. . . .	0.8813	1.0308
	Petites branches	0.8973	1.1044
Feuilles.		0.9117	1.5829

10. Par ces données on voit clairement que l'olivier est un arbre très riche en potasse, et non moins riche en chaux et en acide phosphorique. Ces chiffres peuvent varier dans une certaine limite, suivant la variété d'olivier sur laquelle on opère, la nature de la terre qui l'a nourri et d'autres conditions spéciales de culture et de climat.

Cependant, il est hors de doute qu'il est indispensable que ces éléments prédominants se trouvent en grande partie dans la fumure, si l'on veut augmenter la fécondité de l'olivier, ou la maintenir si elle est déjà bonne.

Dosage du tanin dans l'écorce de l'olivier.

11. Quoique le dosage du tanin dans l'écorce de l'olivier ne puisse probablement conduire à aucune application pratique, on a cru devoir faire cette détermination pour voir quelle serait la différence

par rapport aux autres arbres, et surtout au chêne, dont l'écorce est très exploitée pour la tannerie.

Dans ce but, on a broyé l'écorce d'olivier, provenant d'une branche d'environ 12 centimètres de diamètre, et on a pris 10 grammes de la matière desséchée qu'on a épuisés par l'eau bouillante jusqu'à cessation de la réaction par le perchlorure de fer, et l'on a étendu la solution ainsi obtenue à 500 centimètres cubes.

Dans 10 centimètres cubes, on a dosé le tanin par la méthode de Lowenthal-Neubauer, et l'on a eu :

	p. 100.
Tanin et autres matières oxydables.	3.44
Tanin pur après séparation par la peau en poudre. . .	0.97

Dans une branche de chêne de $0^{m},12$ de diamètre, dont l'écorce sert au tannage, on a trouvé 3 p. 100 de tanin, de façon qu'on peut conclure que dans l'écorce de l'olivier il y a environ le tiers du tanin contenu dans l'écorce du chêne.

Analyse immédiate des olives.

12. L'analyse immédiate des olives a été l'objet de plusieurs recherches qui ont amené des discussions à n'en plus finir, à cause surtout de la quantité de substances grasses (huile) contenues dans les diverses parties constituantes de la drupe de l'olivier.

Les résultats que nous avons obtenus, nous ont amené à cette conviction, qu'ils sont très variables, les conditions qui sont la cause de cette variabilité étant multiples.

13. Nous avons commencé par séparer les différentes parties constituantes de la drupe : la *pulpe* (épicarpe et sarcocarpe), le bois du *noyau* (endocarpe) et l'*amande*.

Tout en faisant cette opération, on a tenu compte de leur poids dans la formation totale de la drupe et ensuite on a déterminé la quantité d'eau renfermée dans la drupe tout entière et dans chaque partie qui la constitue.

200 grammes d'olives contenaient 39 grammes de noyaux (endocarpe et amande) et 161 grammes de pulpe ; ce qui fait 19.5 p. 100 de noyaux et 80.5 p. 100 de pulpe. 250 grammes d'olives mis à

l'étuve jusqu'à cessation de perte de poids ont donné 118^{gr},5 de substance sèche, et perdu 131^{gr},5 d'eau; ce qui représente 52.6 p. 100 d'eau et 47.4 p. 100 de substance sèche.

Traités de la même manière, 100 grammes de pulpe ont laissé 42 grammes de substance sèche et perdu 58 grammes d'eau. 39 grammes du bois des noyaux (endocarpe) ont perdu 8^{gr},9 d'eau et laissé 30^{gr},1 de substance sèche; ce qui fait 23 p. 100 d'eau et 77 p. 100 de substance sèche. 20 grammes d'amandes ont perdu 5^{gr},40 d'eau et laissé 14^{gr},60 de substance sèche; d'où 27 p. 100 d'eau et 73 p. 100 de substance sèche.

Nous allons réunir ces chiffres dans un tableau pour mieux faire comprendre les résultats.

	DRUPE ENTIÈRE.	PULPE.	ENDOCARPE.	AMANDE.
Eau	52.60	58.00	23.00	27.00
Substance sèche	47.40	42.00	77.00	73.00
	100.00	100.00	100.00	100.00

Les différences entre l'eau totale de la drupe et celle contenue dans les trois parties qui la constituent sont dues à ce que lorsqu'on détermine l'eau sur la drupe entière, l'eau de l'endocarpe et de l'amande ne pouvant pas s'évaporer, reste emprisonnée dans la drupe même.

Analyse de la pulpe.

14. Vingt grammes de pulpe desséchés à 100° ont été épuisés par le sulfure de carbone dans l'appareil Schlœsing, et ont donné 13^{gr},2 de *substance grasse* et 6^{gr},8 de résidus; d'où 66 p. 100 d'huile calculée pour la substance sèche et 27.62 p. 100 rapportée à la matière première.

15. Dans 1 gramme de résidu obtenu après l'extraction de l'huile, on a dosé l'*azote* par la méthode de la chaux sodée. Ce dosage a donné 0.43 d'azote p. 100 de substance sèche et 0.18 p. 100 de matière première.

En multipliant ces chiffres par le facteur 6.25, on a eu :

Matières azotées p. 100 de substance sèche. . . . . = 2.668
— — de matière première. . . . . = 1.120

16. Dans 2 grammes du résidu après extraction de la substance grasse, on a fait le dosage de la *cellulose* (ligneux ou cellulose brute) d'après la méthode de Weende.

On a obtenu 0.317 de cellulose dans les 2 grammes, ce qui fait 2.263 de cellulose p. 100 de matière première et 5.389 p. 100 de substance sèche.

On a compris sous le nom de *matières organiques* celles en dehors de l'eau et de la matière grasse, déjà dosées séparément.

200 grammes de pulpe incinérés ont laissé $3^{gr},4$ de *cendres ;* c'est-à-dire 1.7 p. 100 de matière première et 4.047 p. 100 de substance sèche.

Voici un aperçu complet de l'analyse de la pulpe :

CORPS DOSÉS.	P. 100 de matière première.		P. 100 de substance sèche.	
Eau.	58.000		»	
Substance grasse. . . .	27.620		66.000	
Matières azotées. . . .		1.120		2.668
— organiques. . .	12.680		29.953	
Cellulose.		2.263		5.380
Cendres	1.700		4.047	
	100.000		100.000	

Analyse de l'endocarpe.

17. Les noyaux séparés de la pulpe ont été lavés à plusieurs reprises, même à l'eau chaude et séchés avec du papier buvard et puis lavés à nouveau avec de l'eau faiblement alcaline, et enfin avec l'eau distillée, pour leur enlever toute trace d'huile provenant de la pulpe.

Cela fait, ils ont été cassés et séparés de l'amande et enfin pulvérisés.

On a pris 10 grammes de la poudre qu'on a épuisés par le sulfure de carbone, de la manière indiquée pour la pulpe.

Après plusieurs jours de distillation on a obtenu $0^{gr},455$ d'huile. — La couleur de cette huile très épaisse, d'abord jaunâtre, passait au rouge-rouille.

Le taux p. 100 est de 4.55 rapporté à la substance sèche et de 3.503 à la matière première.

Les autres dosages ont été faits de la même manière que pour la pulpe.

Ainsi on a dosé l'azote dans 5 grammes de matière bien pulvérisée, et l'on a eu $0^{gr},22082$ p. 100 d'azote, correspondant à 1.380 de matières azotées p. 100 de substance sèche et à 1.062 p. 100 de matière première.

Pour le dosage de la cellulose, on a pris 2 grammes qui ont donné $0^{gr},895$ ou bien 44.750 de cellulose p. 100 de substance sèche et 34.457 p. 100 de matière première.

20 grammes du bois des noyaux incinérés ont laissé $0^{gr},106$ de cendres ; d'où 0.53 p. 100 de matière première et 0.689 p. 100 de substance sèche.

Dans le tableau suivant, on a réuni les résultats de cette analyse afin qu'on puisse les voir mieux :

CORPS DOSÉS.	P. 100 de matière première.		P. 100 de substance sèche.	
Eau	23.000		»	
Substance grasse	3.503		4.550	
Matières azotées		1.062		1.380
— organiques	72.967		94.761	
Cellulose		34.457		44.750
Cendres	0.530		0.689	
	100.000		100.000	

Analyse de l'amande

18. Les dosages ont été faits par la même méthode que pour les deux analyses précédentes.

Sur 2 grammes de matière [1] on a obtenu $0^{gr},432$ de substance grasse, c'est-à-dire 21.600 d'huile p. 100 de matière première et 29.589 p. 100 de substance sèche.

1 gramme de matière contenait 0.03 d'azote correspondant à 19.03 de substances azotées p. 100 de matière sèche et à 13.89 p. 100 de matière première.

1 gramme de matière contenait $0^{gr},220$ de cellulose, ou bien 22 de cellulose p. 100 de substance sèche et 16.06 p. 100 de matière première.

1. Il faut tenir compte que nous avons opéré sur la matière desséchée à 100°.

5 grammes d'amandes fraîches incinérées ont laissé $0^{gr},060$ de cendres, c'est-à-dire 1.20 p. 100, correspondant à 1.643 p. 100 de substance sèche.

19. L'huile de l'amande avait une odeur de cannelle très prononcée. Il n'a pas été possible de faire des études plus précises à ce sujet; il aurait fallu avoir à sa disposition une quantité plus considérable de matière, pour pouvoir étudier cette nouvelle substance. Cependant, il est très singulier que M. Mingioli ait rencontré la même substance dans l'endocarpe de la drupe de l'olivier, plutôt que dans l'amande.

Nous espérons que des études ultérieures pourront nous éclairer à ce sujet.

Nous réunissons dans le tableau suivant les résultats de cette analyse, et dans un autre l'aperçu général de l'analyse immédiate de la drupe entière :

CORPS DOSÉS.	P. 100 de matière première.		P. 100 de substance sèche.	
Eau	27.000		»	
Substance grasse	21.600		29.589	
Matières azotées		13.891		19.030
— organiques	50.200		68.768	
Cellulose		16.060		22.000
Cendres	1.200		1.643	
	100.000		100.000	

Tableau synoptique de l'analyse immédiate de la drupe de l'olivier.

CORPS DOSÉS.	PULPE.		ENDOCARPE.		AMANDE.	
	P. 100 de matière première.	P. 100 de substance sèche.	P. 100 de matière première.	P. 100 de substance sèche.	P. 100 de matière première.	P. 100 de substance sèche.
Eau	58.000	»	23.000	»	27.000	»
Substance grasse	27.620	66.000	3.503	4.550	21.600	29.589
Matières organiques	12.680	29.953	72.967	94.661	50.200	68.768
Cendres	1.700	4.047	0.530	0.689	1.200	1.643
	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Matières azotées	1.120	2.668	1.062	1.380	13.891	19.030
Cellulose	2.263	5.389	34.457	44.750	16.060	22.000

Relations entre sol et la plante.

20. *Modes d'absorption des principes minéraux du sol par les racines des plantes.*

Le principal facteur de l'agriculture est la fumure : de là dépendra l'intensité du développement et le poids de la récolte que les végétaux vont fournir. Les végétaux sont constitués par 13 à 14 substances minérales, dont 4 ou 5 tout au plus et 3 seulement dans la plupart des cas seront l'objet des vues de l'agriculteur, pour accroître et maintenir la fertilité de ses terres.

Pour que les végétaux puissent former leurs tissus et parcourir toutes les phases de leur existence, ils ont besoin de quatre oxydes (potasse, chaux, magnésie, oxyde de fer), d'un corps neutre (eau) et de quatre acides (carbonique, sulfurique, phosphorique, nitrique), car l'absence d'un de ces corps ou de leurs éléments rendrait la végétation impossible.

Au contraire, ces neufs corps suffisent au développement de la plante. Les tissus végétaux renferment encore d'autres corps qui ne sont pas indispensables à la végétation, savoir : le chlore, le manganèse, la soude et la silice.

Comme on l'a dit plus haut, trois seulement suffisent ordinairement dans la culture. Ce sont l'azote, la potasse et l'acide phosphorique, principes qu'il faut restituer abondamment au sol, parce que les récoltes les lui enlèvent presque complètement.

Nous avons vu, dans l'analyse de l'olivier, quelles quantités énormes de potasse se rencontrent dans les tissus du bois, des feuilles et des fruits de cet arbre ; des quantités non moins grandes d'azote et d'acide phosphorique concourent à sa reconstitution, d'où il suit qu'il faut restituer au sol ces principes en quantité assez abondante pour pouvoir maintenir la persistance de la fécondité de la terre, et en accroître le rendement. Pour les autres corps, tels que la magnésie et la chaux, la restitution n'est pas absolument nécessaire, pourvu qu'on soit sûr que ces corps se trouvent en quantité suffisante dans le sol, ce qui est le cas pour l'olivier, car on a trouvé en abondance la chaux dans le bois et les feuilles. De même, la restitution du car-

bone, du fer, de la silice, du chlore, du soufre, n'est pas nécessaire ; l'air contient assez d'acide carbonique et le sol est suffisamment pourvu des quatre derniers corps.

Quoiqu'on ait dit de fumer abondamment, en tenant compte des grandes quantités des trois éléments essentiels qui constituent la plante, on ne doit toutefois pas donner au sol plus d'engrais qu'il ne faut, parce qu'une partie seulement des principes fertilisants est utilisée par le végétal.

Je vais esquisser en quelques traits comment ces principes sont assimilés par les végétaux, c'est-à-dire comment s'opère leur absorption.

Dès que Liebig est venu nous montrer que l'alimentation des plantes est exclusivement minérale, on n'a plus attribué aux matières organiques du sol cette valeur qu'on leur avait longtemps réservée.

Plus tard, les admirables découvertes de Huxtable, Thomson et Way sur le pouvoir absorbant du sol, et celles des phénomènes dialytiques, par Graham, devaient complètement anéantir les idées admises jusqu'alors sur le mode de nutrition des plantes. On avait cru pendant longtemps, et malheureusement quelques-uns le croient encore aujourd'hui, que les végétaux ne pouvaient se nourrir qu'à la condition que la racine trouve dans le sol des matériaux en dissolution qui seraient absorbés par les radicelles.

On supposait donc que la plante rencontre dans le sol des quantités d'eau suffisantes pour dissoudre les matériaux nécessaires à son alimentation. Ainsi les radicelles auraient absorbé ces principes par un procédé tout à fait analogue à celui que produit l'élévation du liquide dans les tubes capillaires. Cette théorie est tout à fait fausse, et par là n'a pas raison d'exister encore.

Le pouvoir absorbant du sol suffit pour le démontrer. M. Schlœsing en France, par des expériences très précises et de la plus haute importance, nous a démontré que le liquide baignant le sol renferme des traces de principes nutritifs et qu'il ne serait pas possible d'expliquer de cette façon le développement de la plante.

Alors on s'est demandé comment s'effectue la nutrition des végétaux, si le liquide contenu dans le sol ne renferme pas assez de principes fertilisants.

C'est ce qu'ont justement démontré les découvertes de Graham, Zoeller et d'autres. Le liquide intérieur des racines des végétaux étant acide est capable, grâce à cette acidité, de dissoudre certaines substances, spécialement les phosphates qui se trouvent en contact avec la paroi externe de la racine.

C'est par dialyse que les sels nutritifs du sol s'introduisent dans le végétal ; il n'y a donc aucune intervention du liquide qui baigne le sol. Il résulte de là, au point de vue de la nutrition, que la dissémination des engrais est de la plus haute importance pour multiplier les contacts des matériaux nutritifs avec les racines.

Plus le mélange des engrais avec la terre sera intimement fait, mieux la plante se nourrira, et par conséquent, plus la récolte sera abondante.

21. *Ce qu'un olivier peut produire en bois, feuilles et fruits par année.*

D'après plusieurs observations que j'ai pu recueillir des différents points de l'Italie où l'on cultive l'olivier, il est résulté qu'un olivier de grande taille, robuste, bien entretenu sur un sol apte à son développement, fournit de 58 à 65 kilogr. de bois et feuilles à l'état sec, et tous les ans de 7 à 11 et parfois même 12 kilogr. de fruits frais.

Nous pouvons donc calculer, à l'aide des résultats de nos analyses, quelle est la quantité de matériaux que cette plante enlève par an à la terre qui la nourrit.

Le tableau suivant indique ces différents taux :

	POTASSE.	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	CHAUX.	SOUDE.	MAGNÉSIE.	OXYDE DE FER.	ACIDE sulfurique.	ACIDE silicique.	CHLORE.
	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Bois	0,1110	0,5338	0,0675	0,3023	0,0196	0,0291	0,0183	0,0092	1,0027	»
Feuilles	0,2633	0,3166	0,0911	0,1016	0,0141	0,0385	0,0124	0,0114	0,0037	0,0023
Fruits	0,0854	0,0581	0,0118	0,0232	0,0032	0,0051	0,00014	0,00015	0,8062	0,0023

On a fait ces calculs en tenant compte de 70 kilogr. comme moyenne de la production annuelle en bois et feuilles et en admettant que le bois pèse 50 kilogr. et les feuilles 20 kilogr.

La moyenne de 10 kilogr. d'olives fraîches représente 4.74 d'olives sèches.

D'après ces chiffres on peut calculer la quantité de principes fertilisants qui est enlevée tous les ans par les arbres cultivés à un hectare de terre; mais comme le nombre des arbres par hectare varie d'une région à l'autre, nous nous sommes dispensé de faire d'autres calculs, parce qu'on n'aurait jamais eu des chiffres sûrs.

Analyse des tourteaux.

22. Les études ont été faites sur des tourteaux provenant de la presse en fer, et résultant du pressurage des olives entières.

Les méthodes analytiques ont été celles employées pour l'analyse immédiate des olives et l'analyse des cendres végétales.

Voici les résultats obtenus :

Composition des cendres.

Acide silicique	26.190
Potasse	28.942
Soude	5.279
Chaux	22.953
Magnésie	1.121
Oxyde de fer	4.406
Acide phosphorique	9.447
— sulfurique	1.594
Chlore	0.068
	100.000

Analyse immédiate.

	P. 100 de matière première.	P. 100 de substance sèche.
Eau	12.000	»
Matières azotées	9.717	11.043
Substances grasses	11.457	13.020
Matières non azotées	27.678	31.451
Cellulose	37.018	42.100
Cendres	2.100	2.386
	100.000	100.000

Ces résultats montrent à quel point la valeur des tourteaux est

incontestable. La composition de ses cendres et sa richesse en principes immédiats en font un excellent engrais et un aliment non moins bon pour le bétail.

II

ÉTUDES COMPARATIVES AVEC LES RECHERCHES D'AUTRES AUTEURS ET CONCLUSIONS

23. Nous réunirons dans plusieurs tableaux les résultats obtenus par divers auteurs, en ayant soin de faire suivre chaque tableau, des observations que nous croirons nécessaires.

Tableau comparatif de l'analyse des cendres des diverses parties de l'olivier[1].

CORPS DOSÉS.	MULLER.			BECHI.			AUDOYNAUD.			SCHAEDLER.			PAPARELLI.		
	Bois.	Feuilles.	Fruits.	Bois.	Feuilles.	Fruits.	Bois.	Feuilles.	Fruits.	Bois.	Feuilles.	Fruits.	Bois.	Feuilles.	Fruits.
Potasse	21.23	26.27	60.07	20.940	10.990	72.482	14.100	14.950	20.000	»	»	64.592	19.828	30.260	60.774
Soude.	»	»	»	2.900	1.520	6.825	»	»	»	»	»	7.000	3.514	1.614	2.225
Magnésie.	2.31	5.18	4.38	6.240	5.020	0.278	»	»	»	»	»	0.300	5.206	4.424	3.770
Chaux.	63.02	56.18	15.72	38.720	52.820	8.643	35.250	29.100	»	»	»	8.293	53.993	46.155	16.282
Oxyde de fer . . .	0.74	0.57	1.19	2.110	2.500	0.704	»	»	»	»	»	0.855	3.279	1.414	0.096
Acide phosphorique.	5.42	3.74	8.35	11.590	13.650	7.624	4.100	5.900	7.223	»	»	10.805	12.060	10.470	8.334
— sulfurique. .	3.09	3.01	1.19	2.110	0.760	1.155	»	»	»	»	»	2.295	1.639	4.754	1.104
— silicique. . .	3.82	3.75	5.58	14.230	11.370	0.685	»	»	»	»	»	1.200	0.479	0.649	5.670
Chlore.	0.48	1.31	4.55	0.560	0.190	1.575	»	»	»	»	»	2.519	traces	0.260	1.581

1. Pour bien comparer les résultats, on a calculé et rapporté à 100 les chiffres indiqués par les autres auteurs.

Ajoutons aux analyses du tableau précédent, une autre analyse de MM. Malaguti et Durocher :

	BOIS.	FEUILLES.	FRUITS.
Potasse	25.51	26.67	7.13
Soude	»	»	20.51
Magnésie	7.23	7.31	10.25
Chaux	20.12	21.93	22.91
Acide phosphorique	10.15	7.98	10.53
— sulfurique	3.43	1.61	4.60
— silicique	13.75	20.88	12.41
Oxyde de fer et manganèse	4.43	6.11	2.59
Chlorure de sodium	12.16	5.39	7.92
— de potassium	1.26	2.37	»
Totaux	98.07	100.28	98.85

Cette analyse remonte à la même époque que celle de Müller (de 1840 à 1850), et, comme on voit, elle n'est pas des plus exactes.

Nous ne savons pas comment les auteurs ont opéré, ni quels échantillons ils ont analysés, mais le chiffre de 20.51 p. 100 de *soude* dans les olives n'est pas admissible, car seules les plantes marines contiennent une quantité aussi grande de soude.

D'autre part, on suppose que les autres auteurs, ainsi que nous, ont dosé la soude par différence, ainsi que cela se pratique généralement, car il n'existe encore aucune méthode rigoureuse pour doser rapidement la soude dans les cendres végétales. Cette méthode par différence comporte une inexactitude, parce que la quantité de soude qu'on obtient renferme des impuretés; ainsi nous sommes conduit à penser que dans la quantité de soude trouvée par MM. Durocher et Malaguti, une partie est de la potasse, puisqu'ils n'ont trouvé que 7.13 p. 100 de ce corps dans les cendres des olives, tandis que celles-ci contiennent la plus grande partie de potasse.

Les mêmes savants ont trouvé 12.16 p. 100 de *chlorure de sodium* dans le bois, 5.39 dans les feuilles et 7.92 dans les fruits, ce qui correspond à 6.4448 de soude dans le bois, à 2.8567 dans les feuilles et à 4.1976 dans les fruits. Ainsi, tandis que pour le bois et pour les feuilles la quantité de soude varie dans les mêmes limites que celle obtenue par les autres, elle semblerait s'accroître notablement dans les fruits, au point d'atteindre un total de 24.7076 p. 100 !...

Pas une seule des analyses faites après celle de MM. Malaguti et Durocher n'a donné des résultats semblables ni approximatifs; en effet, la moyenne des données des autres auteurs représente 5.37 p. 100 de soude dans les olives.

On ne peut pas non plus comparer les proportions des autres corps, car, quoiqu'elles puissent varier en opérant sur différentes variétés d'olivier et sous diverses conditions de climat, de sol et de culture, elles s'éloignent trop de nos résultats et de ceux des autres, et par cela l'analyse n'offre pas d'importance pour le sujet qui nous occupe.

24. L'analyse du Dr Müller est peu satisfaisante au point de vue agricole; elle manque de données pour en tirer des applications pratiques, telles que la culture et composition de la terre, ainsi que la variété de l'olivier et ses conditions spéciales de culture. Il n'a pas dosé la soude ; cependant ses résultats se rapprochent un peu plus des nôtres.

25. Le savant professeur Becchi, directeur de la station agronomique de Florence, nous a donné l'analyse la plus complète de l'olivier ; il ne s'est pas seulement borné à doser la composition des cendres des diverses parties de l'olivier, mais il a fait une analyse élémentaire organique des plus minutieuses. Et à ce propos, nous devons dire que le dosage de l'*azote* a une grande importance au point de vue de la fumure.

Il a trouvé 1.650 p. 100 d'azote dans le bois; 2.110 dans les feuilles; 1.880 dans la pulpe; 1.570 dans les noyaux (endocarpes) ; 2.980 dans les amandes : nous avons trouvé, au contraire, 1.676 p. 100 dans le bois; 1.582 dans les feuilles; 0.427 dans la pulpe; 0.221 dans les noyaux; 3.045 dans les amandes.

Comme on le voit, nos résultats ne s'accordent pas parfaitement avec ceux du savant chimiste, mais cela est dû spécialement à la très petite quantité d'azote trouvée dans notre sol et à la fumure défectueuse qu'on donne aux oliviers du Latium.

Il apparaît aussi clairement que la plus grande quantité d'azote se retrouve dans l'amande, celle que peuvent donner la pulpe et l'endocarpe étant très faible.

Quant à la quantité de *potasse*, que M. Becchi a trouvée égale à

10.990 p. 100 dans les feuilles, et qui, d'après nous, se monte à 30.260 p. 100, il faut considérer qu'il s'est servi, dans ses analyses, de vieilles feuilles, qui contiennent toujours moins de potasse, tandis que les jeunes en renferment toujours en grande quantité. Voilà la raison de la différence si grande, car nous nous sommes servi de jeunes feuilles.

Pour la quantité de *chaux,* il arrive tout le contraire : en effet, tandis que M. Becchi la trouve dans les vieilles feuilles égale à 52.820 p. 100, nous trouvons 46.155 p. 100 dans les jeunes.

Quant à l'*acide phosphorique,* les différences ne sont pas très notables et elles sont toujours dues à la nature de la terre, à la fumure, à la variété de l'olivier sur lequel on opère, et aussi beaucoup à l'époque de la prise des échantillons.

Après avoir noté les différences qu'il y a entre les quantités d'azote, acide phosphorique, potasse et chaux, nous croyons inutile de comparer les taux des autres corps dosés, parce que, ainsi qu'on l'a déjà dit, les quatre corps précités forment la base de la nutrition végétale et ne doivent jamais faire défaut dans le sol, et surtout l'azote doit être restitué au sol, sans tenir compte que les feuilles puissent en absorber la plus grande partie dans l'atmosphère. Les autres corps, tels que la magnésie, l'oxyde de fer, l'acide sulfurique, etc., se trouvent toujours en quantité suffisante dans le sol, et l'air contient assez d'acide carbonique pour nourrir la plante.

26. M. Audoynaud, le savant professeur de l'École d'agriculture de Montpellier, s'est borné à doser la *potasse,* l'*acide phosphorique* et la *chaux* dans les cendres du bois et des feuilles, et à doser les deux premiers corps dans celles des fruits. En effet, pour des recherches envisagées dans un but purement agricole, on devrait se borner à ces dosages, parce qu'ils intéressent plus directement la nutrition végétale ; cependant, nous devons aussi considérer que le dosage de l'azote ne doit pas être négligé. Au contraire, M. Audoynaud a dosé l'*acide carbonique :* mais nous n'avons pas cru nécessaire de comparer ses résultats avec les nôtres, parce que la quantité de cet acide varie plus ou moins selon le procédé suivi dans l'incinération des végétaux. D'autre part, ce dosage n'a pas grande signification, puisque l'air le restitue au sol.

Les résultats obtenus par M. Audoynaud diffèrent sensiblement des nôtres, et nous ne pouvons pas les comparer, puisqu'il opère sur diverses variétés d'oliviers cultivés et même forestiers, venus dans des terres calcaires ou siliceuses. Ces études montrent que la *chaux* domine dans les feuilles et dans le bois, tandis qu'il y en a seulement des traces dans les fruits. On doit aussi remarquer que ces oliviers, quoique provenant d'une terre calcaire, ne contiennent pas une grande quantité de chaux, tandis que notre olivier, cultivé dans une terre silico-argilo-calcaire, renferme une quantité assez grande de chaux.

27. Le Dr Schaedler s'est occupé de l'analyse des cendres des olives, ainsi que de l'analyse immédiate de ces dernières ; nous en ferons plus tard une étude comparative.

Quant aux résultats obtenus pour les éléments des cendres des olives, nous devons dire qu'ils s'approchent un peu des nôtres en ce qui concerne la *potasse* et l'*acide phosphorique,* mais pour les autres corps, ils diffèrent sensiblement.

En effet, il trouve dans les fruits seulement la moitié de la quantité de *chaux* que nous avons obtenue, tandis que la quantité de *soude* qu'il trouve est beaucoup plus grande que celle que nous avons trouvée.

28. De tout ce qui précède, on conclut que la quantité de *chaux* contenue dans les olives est plus grande que celle que l'on croit généralement, tandis que la *magnésie* s'y trouve en petite quantité, et on dirait qu'elle s'accumule dans les feuilles, où l'on en rencontre davantage.

La *potasse,* au contraire, se trouve très répandue dans les olives, tandis qu'elle diminue sensiblement dans le bois et les feuilles, qui sont riches en *chaux.*

L'*acide phosphorique,* au contraire, pour nous, va toujours en diminuant du bois aux fruits.

Les branches jeunes comparées aux vieilles renferment moins de *chaux,* tout en contenant une plus forte quantité de tous les autres corps.

La *silice* est très abondante dans les fruits et peu abondante dans le bois et les feuilles.

29. Nous présentons dans le tableau ci-dessous la comparaison des analyses immédiates des olives, faites par les différents auteurs :

Tableau comparatif de l'analyse immédiate des olives.

DÉTERMINATIONS FAITES.	PARTIES de la drupe.	STANCHOWICH.	SIEUVE.	RIDOLFI.	SCHAEDLER.	MINGIOLI.	PAPARELLI.
			P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Taux p. 100 des parties qui constituent la drupe . . .	Pulpe [1].	»	74.604	»	71.429	75.3107 [7]	80.500
	Noyau [2]	»	21.356	»	23.225	18.9156	19.500
	Amande. . . .	»	6.728	»	5.356	3.7041	
Eau.	Drupe entière .	51.25	»	51.00	34.62	49.91	52.60
	Pulpe	»	»	»	24.22	48.45	58.00
	Noyau.	»	»	»	4.20	19.69	23.00
	Amande. . . .	»	»	»	6.20	29.40	27.00
Substance grasse.	Pulpe.	9.39 [3]	26.676	10.00	56 40 [6]	30.4282 [8]	27.620
	Noyau.	? [4]	7.584	1.00 [5]	5.75	1.2135	3.503
	Amande. . . .	0.62	3.668		12.26	26.5790	21.600
Matières organiques	Pulpe.	14.38	»	16.00	16.70	21.8770 [9]	12.680
	Noyau.	20.00	»	22.00	85.89	79.0247	72.967
	Amande. . . .	0.16	»	»	12.26	42.0310	50.200
Cendres.	Pulpe.	»	»	»	2.68	»	1.700
	Noyau.	»	»	»	4.16	»	0.530
	Amande. . . .	»	»	»	2.16	»	1.200

1. Le sarcocarpe et épicarpe ensemble.
2. Le bois du noyau (endocarpe).
3. Stanchowich, Sieuve, Ridolfi, Schaedler, ainsi que nous, ont opéré sur la pulpe entière (sarcocarpe et épicarpe ensemble).
4. L'auteur met en doute l'existence d'huile dans l'endocarpe.
5. Nous croyons que ce taux comprend l'huile de l'endocarpe et de l'amande ensemble.
6. L'auteur ne dit pas si ce taux se rapporte à la matière sèche ou à la matière première.
7. En comparant les résultats de M. Mingioli, on a fait la moyenne des chiffres qu'il donne dans son étude sur l'analyse immédiate des olives.
8. L'auteur a dosé la substance grasse dans l'épicarpe et le sarcocarpe séparés.
9. Ces taux correspondent aux matières organiques et minérales ensemble.

30. Quoiqu'on ait fait plusieurs déterminations dans l'analyse immédiate des olives, nous nous bornons à comparer seulement celles qui intéressent de plus l'oléiculture et l'oléification.

Pour cela nous considérerons d'abord le poids des différentes parties qui constituent la drupe, rapporté à sa formation totale.

M. Sieuve, le premier, fit cette détermination : ses résultats présentent une certaine relation avec ceux obtenus par MM. Schaedler

et Mingioli, et par nous. Les variations qu'on y rencontre sont dues à d'autres circonstances, nous l'avons dit ailleurs.

31. En comparant les résultats obtenus par les divers auteurs dans la quantité de substance grasse, nous trouvons que M. Mingioli seulement s'est occupé de faire ce dosage dans l'épicarpe de l'olive. Comme nous nous sommes borné à doser la substance grasse dans l'épicarpe et le sarcocarpe ensemble, nous ne saurions donner aucune appréciation sur ce dosage : cependant, c'est avec beaucoup de plaisir que nous reconnaissons ce dosage comme étant très précieux dans les recherches scientifiques, pour ce qui regarde la présence des substances grasses dans la drupe de l'olivier.

32. Quant à la quantité de la substance grasse totale de la pulpe, nous trouvons de grandes différences : en effet, d'après ce qui précède, on voit que MM. Ridolfi et Stanchowich, par les seuls moyens mécaniques et les plus faibles possibles, ont trouvé une quantité d'huile beaucoup moindre que celle qu'on obtient généralement dans l'industrie.

M. Boussingault, dans son livre : *Économie rurale,* écrit que les olives rendent de 9 à 11 p. 100; et M. Albin Marcy, au contraire, en retire 25 p. 100. M. Sieuve, quoique dans l'extraction il se soit servi des seuls moyens mécaniques, en a retiré 20.676 p. 100, quantité qui, comme celle de M. Marcy, s'approche le plus de la valeur réelle.

La quantité rencontrée par M. Schaedler nous semble trop forte, c'est pour cela que nous croyons qu'il l'a rapportée à la substance sèche.

Les taux obtenus par M. Mingioli et par nous sont supérieurs à ceux trouvés par les autres, parce que l'extraction de la matière huileuse a été faite par des dissolvants.

Ces doses obtenues par l'analyse nous prouvent que, dans l'industrie huilière actuelle, il y a des pertes d'huile, qui en grande partie reste dans les tourteaux et ne pourra être retirée que par des dissolvants.

33. La substance grasse contenue dans l'endocarpe a provoqué beaucoup de discussions contradictoires parmi les auteurs : quelques-uns ont nié son existence dans l'endocarpe, d'autres ont dit qu'il y en

avait très peu, et d'autres enfin en ont déclaré des quantités énormes. Ces faits ont été portés à l'évidence par nos recherches et celles de MM. Schaedler et Mingioli.

M. Stanchowich doute de l'existence d'une huile dans l'endocarpe : MM. Rozier (abbé), Amoreux, Bernard et Gandolfi d'abord la nient, puis en répétant les expériences en accusent l'existence. M. Sieuve au contraire, qui d'abord disait en avoir trouvé 50 p. 100, croit devoir la nier après d'autres essais, mais enfin il en accuse de nouveau l'existence pour un taux de 7.584 p. 100.

M. Pellegrini nie tout à fait l'existence d'huile dans l'endocarpe.

Les résultats obtenus par M. Schaedler s'approchent de ceux de M. Sieuve, qui ne sont pas du tout exacts; cependant, si la quantité de 5.75 p. 100 qu'il donne, se rapporte à la substance sèche, alors ses résultats s'approchent des nôtres.

M. Mingioli n'est pas tout à fait d'accord avec nous; en effet, il trouve 1.2135 p. 100, tandis que nous trouvons 35.03 p. 100 d'huile dans l'endocarpe.

Peut-être notre chiffre serait un peu plus élévé : nos olives avant d'être soumises à l'expérience venant de l'Italie en France, il pourrait y avoir eu pendant le voyage absorption d'un peu d'huile de la pulpe par l'endocarpe ; mais nous maintenons quand même que cette quantité n'aurait pu être que très petite, et pour cela nous croyons que notre taux se rapproche le plus de la vérité.

34. Enfin, l'huile de l'amande a été rencontrée en petite quantité par Stanchowich, Sieuve et Ridolphi; M. Schaedler trouve 12.26 p. 100, mais ce taux est aussi trop faible, comparé à celui obtenu par M. Mingioli égal à 26.579 p. 100, et le nôtre égal à 21.60 p. 100. Les variations qui se présentent dans l'analyse immédiate des olives dépendent autant de la nature du sol que de la variété des olives mêmes, de l'état de maturité, de l'époque de la récolte, des méthodes de dosage des principes immédiats et d'autres causes multiples.

Tout cela nous prouve que les principes immédiats contenus dans les olives sont susceptibles de variabilité, mais celle-ci est toujours comprise dans une certaine limite.

35. Ci-après le tableau comparatif de l'analyse immédiate des tourteaux d'olives :

Tableau comparatif de l'analyse immédiate des tourteaux d'olives.

CORPS DOSÉS.	PETERMANN.	SESTINI [1].	ROSSI [1].	MINGIOLI [1].	PAPARELLI.
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Eau.	10.77	12.779	12.97	24.125	12.000
Substance grasse. . .	25.69	13.837	13.61	17 425	11.457
Matières azotées. . .	8.56	6.174	7.90	»	9.717
— non azotées .	22.36	60.999	31.91	»	27.678
Cellulose.	28.64		28.82	»	37.047
Cendres	3.98	6.156	4.78	»	2.100

1. Pour M. Sestini on a fait la moyenne de deux de ses analyses ; de même a été fait pour M. Rossi. De M. Mingioli, nous comparons seulement la moyenne des résultats qu'il a obtenus sur des tourteaux provenant de la presse ordinaire, parce que nous avons opéré sur des tourteaux de même provenance. L'auteur a employé comme dissolvant, soit le sulfure de carbone, soit l'éther, mais comme nous nous sommes servi du premier, nous avons comparé les résultats qu'il a obtenus avec celui-ci.

36. En comparant les analyses immédiates des tourteaux, nous nous baserons surtout sur les taux de la substance grasse. Un coup d'œil sur le tableau précédent nous renseigne sur la grande variabilité qui se rencontre dans les doses de substance grasse trouvées par les divers chimistes.

M. Petermann a trouvé le titre le plus fort : 25.69 p. 100 ; le taux trouvé par M. Mingioli est aussi fort élevé : 17.425 p. 100.

Les taux trouvés par MM. Sestini et Rossi se rapprochent le plus des nôtres ; mais nous admettons que ces quantités sont très variables à cause des machines imparfaites et des méthodes erronées qu'on emploie encore aujourd'hui dans l'extraction de l'huile.

Cependant il faut considérer que, quoique les forces mécaniques soient rationnellement employées pour l'extraction de l'huile des tourteaux, il en restera toujours une certaine quantité qu'on pourra retirer seulement à l'aide d'agents chimiques.

La quantité de matières azotées trouvées par nous est plus forte que celle de tous les autres. Ce dosage a une grande importance au point de vue de l'alimentation du bétail et de la fumure.

37. Ci-après le tableau comparatif de l'analyse des cendres des tourteaux.

Tableau comparatif de l'analyse des cendres des tourteaux d'olives.

CORPS DOSÉS.	PETERMANN.	SESTINI.	ROSSI.	PAPARELLI.
Potasse	28.25	6.585	11.93	28.942
Soude.	6.89	8.557	8.98	5.279
Chaux	21.83	3.114	6.95	22.953
Magnésie	1.07	2.618	2.44	1.121
Oxyde de fer et alumine	7.82	23.702	19.67	4.406
Acide phosphorique	8.80	5.824	4.91	9.447
— sulfurique	4.15	4.628	»	1.594
— silicique	20.35	6.016	41.00	26.190
Chlore	0.83	0.314	»	0.068

D'après ce tableau on voit clairement que l'analyse qui s'accorde le plus avec la nôtre est celle de M. Petermann. Les différences entre ces deux analyses et celles de MM. Rossi et Sestini sont trop grandes : on ne peut pas admettre de si petites quantités de potasse et de chaux, ni les taux trop grands d'oxyde de fer et d'alumine. En effet, l'analyse des cendres des olives nous éclaire sur ce point.

D'autres analyses à cet égard pourront établir dans quelles limites ces chiffres peuvent varier : pour le moment, on peut dire que les doses de potasse et d'acide phosphorique des tourteaux égalent celles du fumier, et ils sont pour cela très propres à la fumure de l'olivier même.

Louis PAPARELLI.

BIBLIOGRAPHIE

Traité d'économie politique rurale, par Guillaume Roscher, professeur à l'Université de Leipzig, traduit sur la dernière édition par Charles Vogel, avec une préface de M. Louis Passy[1].

M. Guillaume Roscher, dont M. Ch. Vogel vient de traduire le Traité d'économie politique rurale, a depuis longtemps acquis en France une grande réputation.

J'ai conservé un souvenir très net de l'intérêt passionné avec lequel je lus, un des premiers, en 1858, ses *Principes d'économie politique*, traduits sur la 2e édition allemande et annotés par M. Wolowski, membre de l'Académie des sciences morales et politiques.

Le traducteur présentait aux lecteurs français le livre de M. Roscher comme « un premier essai d'application de la *Méthode historique* (illustrée « par Savigny, Eichorn, etc., dans l'étude de la jurisprudence), à l'étude « de l'économie politique. Les investigations approfondies auxquelles « M. Roscher s'est livré, disait-il, l'immense érudition dont il a fait preuve, « les curieux rapprochements historiques qui abondent dans son ouvrage, « en rendent la lecture pleine d'intérêt et d'attrait, même pour les per- « sonnes étrangères aux travaux d'économie politique, sans parler des « aperçus nouveaux, remplis de finesse et de vigueur, qui donnent un si « haut prix à ce travail[2]. »

Dans l'avant-propos placé en tête de son œuvre, l'auteur disait : « Avec « l'aide de Dieu, cet ouvrage comprendra quatre parties. La seconde sera « consacrée à l'économie de l'agriculture et des autres productions natu- « relles, la troisième à l'économie de l'industrie et du commerce, la qua- « trième enfin traitera de l'économie de l'État et de la commune[3]. »

M. Wolowski, après nous avoir fait connaître la 1re partie de l'œuvre de M. G. Roscher, dont dix-sept éditions n'ont pas épuisé le succès, avait

1. 1 vol. gr. in-8° de 850 p. Paris, 1888, Guillaumin et Cie, éditeurs.

2. G. Roscher, *Principes d'économie politique*, traduit par M. Wolowski (*Collection des économistes et publicistes contemporains*, I, p. vi). Paris, Guillaumin et Cie, 1857.

3. *Ibidem*, p. lxxv.

eu aussi le désir de nous en donner la 2e partie, le *Traité d'économie politique rurale;* malheureusement la multiplicité de ses autres travaux et la mort l'en empêchèrent.

M. Ch. Vogel, déjà connu par des publications très importantes [1], a été chargé de reprendre cette tâche ajournée; sur le désir des éditeurs, il s'est appliqué à condenser toutes les matières de ce traité en un seul volume; il n'a rien négligé pour en rendre la lecture aussi facile que possible, et nous pouvons lui donner l'assurance qu'il y a pleinement réussi.

Les habitudes du lecteur français diffèrent sensiblement de celles du lecteur allemand; ainsi je me souviens de l'impatience que m'a souvent causée la disposition en vertu de laquelle, dans les *Principes d'économie politique,* les notes historiques, statistiques, bibliographiques, etc., très riches et très abondantes, étaient placées, non comme nous le faisons en France, au bas des pages, mais réunies et massées à la fin seulement du texte de chaque paragraphe, ce qui m'obligeait à tourner des feuillets du livre presque à chaque phrase. Cet inconvénient n'existe plus dans la traduction française, que nous annonçons aujourd'hui, du *Traité d'économie politique rurale;* M. Ch. Vogel y a très heureusement pourvu. En outre, l'ouvrage se trouve enrichi d'une très belle et très solide préface par M. Louis Passy, l'éminent secrétaire perpétuel de la *Société d'agriculture de France.*

L'*Économie industrielle et commerciale,* arrivée en Allemagne à sa quatrième édition, forme l'objet de la troisième partie; *De la Science financière,* celui de la quatrième du *Cours du système général d'économie politique* de M. Roscher. Nous faisons des vœux pour que ces œuvres considérables soient prochainement aussi bien traduites que vient de l'être l'*Économie politique rurale.*

Il ne saurait être ici question de tenter une analyse même incomplète de l'ouvrage remarquable de M. Roscher; nous essaierons seulement d'en dégager, si faire se peut, le caractère général et de formuler quelques réserves sur la méthode suivie par l'auteur.

Le titre même est déjà, à lui seul, une indication. Il est ainsi conçu : *Traité d'Économie politique rurale. Agriculture, économie forestière, élevage des chevaux et du bétail, industrie des chalets et des basses-cours, chasse et pêche d'eau douce.* Sur tous ces sujets et sur beaucoup d'autres qui s'y rattachent d'une façon plus ou moins directe, le lecteur trouvera une abondance de renseignements, une richesse d'information, une multitude de faits importants, bien choisis, tirés des sources les plus authentiques, qui font qu'on peut se demander comment une vie d'homme a pu suffire au labeur effrayant dont nous recueillons les fruits.

---

1. Ch. Vogel, *le Monde terrestre.*

M. Roscher ne se borne pas à étudier l'époque actuelle, il recherche quelle a été l'économie rurale non seulement du moyen âge et de l'antiquité, mais encore des temps antérieurs à l'agriculture. Ainsi dans le livre I, il a rassemblé ce qui concerne : « 1° *les peuples chasseurs et pê-* « *cheurs :* modes d'usages primitifs (chasse et pêche), leur dépendance de « la nature, la famille, l'État et la guerre, les progrès et le déclin des « peuples primitifs, les trappeurs ; 2° *les peuples pasteurs :* l'usage des « troupeaux, les esclaves et les usages des nomades, la religion, la poli- « tique et le droit des nomades, les guerres des nomades, leurs conquêtes, « les quasi-nomades, les gauchos. » On voit par là quelles vastes proportions l'auteur a voulu donner à son œuvre. Inutile d'ajouter d'ailleurs que le moyen âge et les temps modernes ne sont pas traités avec moins de soin, de conscience, de souci de la vérité historique.

Mais, puisque je viens d'écrire ce mot, j'oserai dire que M. Roscher me semble être tombé quelque peu dans l'excès, en appliquant la méthode historique à l'étude de l'économie rurale, de telle façon que l'on peut craindre que l'histoire écrase et étouffe en quelque sorte la doctrine.

Sans doute, la première condition de toute science est de serrer d'aussi près que possible les faits, et, pour cela, il faut les bien connaître, les rassembler de façon qu'ils s'éclairent l'un par l'autre, et par là nous permettent de pousser plus avant nos connaissances. Mais la plus grande utilité de cette étude n'est pas tant dans la constatation de ces faits eux-mêmes que dans leur interprétation ; il faut essayer d'en dégager des enseignements, d'en saisir les rapports, de préciser les lois qui les unissent et les rassembent : sinon, à quoi nous servirait, le plus souvent, la connaissance laborieusement acquise des faits de l'histoire, et en particulier des faits économiques ?

Y a-t-il ou n'y a-t-il pas une science qu'on appelle l'économie politique? Et, si elle existe, ne pouvons-nous en tirer des conséquences pour la solution des grandes questions qui, au temps actuel, se posent dans l'économie rurale avec une gravité particulière ? Il pourra sembler au lecteur que je m'avise à d'étranges interrogations, et que je suis bien osé de les formuler à propos d'un savant de la valeur de M. Roscher. Mais c'est qu'en vérité l'auteur lui-même, emporté trop loin, je le crois, par l'abus de la méthode historique, semble avoir désespéré des principes et avoir volontairement borné sa tâche à rassembler des documents, à former sur chaque question (si l'on me passe cette expression) comme un dossier des pièces du procès, en laissant à chacun le soin de juger et de se décider pour ou contre telle ou telle solution.

N'a-t-il pas dit, en effet (et je reprocherai aussi à M. Louis Passy, qui reproduit cette pensée, de la faire sienne, en y adhérant, quoique avec un peu d'hésitation), que l'économie politique expliquée par les témoignages

de l'histoire ne peut *donner matière qu'à l'étude et ne constitue pas une science positive* [1]. « La tâche que nous nous sommes proposée, ajoute « M. Roscher, n'a point été de rendre ce livre pratique, mais de former « des praticiens. Pour tout dire, en un mot, notre intention n'est pas de « faire adopter par ceux qui se confient à notre direction *des applications « toutes tracées dont nous leur aurions montré l'excellence.* Ce que nous « désirons par-dessus tout, au contraire, c'est les rendre aptes à *trouver « eux-mêmes,* en dehors de toute autorité et après avoir pesé conscien- « cieusement chaque circonstance, *des règles de conduite pour la pratique « de la vie.* »

Nous pensons que M. Roscher montre ici trop de modestie et qu'il se défie trop de la science proprement dite; outre qu'il diminue par là même la valeur et la portée de ses beaux travaux, il me semble qu'on ne peut, sans un véritable dommage pour les intérêts généraux du pays, s'en tenir au jugement des intéressés dans une foule de questions où il faut nécessairement prendre parti. Je choisirai pour exemple un problème qu'on avait pu croire résolu chez nous depuis 1861, et qui a été de nouveau posé, je veux dire : la réglementation du commerce des grains et la protection de l'agriculture contre l'importation étrangère.

La loi du 15 juin 1861, abolissant le régime dit de l'*échelle mobile,* avait, on le sait, établi en France la libre importation du blé moyennant le paiement d'un simple droit de balance de 60 centimes. Sous l'empire de ce régime libéral, on n'avait plus connu ni la disette ni l'extrême cherté, et cependant de mauvaises récoltes nous avaient mis dans la nécessité d'importer, dans les années 1878, 1879, 1880, l'énorme quantité de 56,138,581 quintaux métriques de blé [2] !

Alors l'agriculture française s'est émue et, mettant à profit la formidable réduction que le parti protectionniste est parvenu à susciter depuis quelques années, elle a obtenu, de la faiblesse du législateur, le rétablissement de droits protecteurs à l'importation des blés et des farines. Ces droits ont été fixés d'abord, par la loi du 28 mars 1885, à *trois francs* par quintal de blé, et par la loi du 29 mars 1887, à *cinq francs;* pour la farine, le droit, fixé une première fois à *six francs,* a été porté à *huit francs.*

Je tiens à honneur d'avoir, dès 1881, protesté à l'avance contre l'établissement d'un impôt sur le blé, établi moins au profit de l'État qu'au profit des agriculteurs [3]. Mais les réclamations des économistes n'ont point été écoutées et, comme ils l'avaient annoncé après un premier droit relativement modéré, on est promptement arrivé à un droit plus fort (*cinq*

1. *Préface* de M. Louis Passy, p. xxxiii.

2. *Journal officiel* du 2 février 1881.

3. Jules Liégeois, *le Tarif des douanes et le prix du blé,* extrait de la *Revue générale d'administration.* Nancy, Berger-Levrault et Cie.

francs); en même temps, on a relevé les chiffres du tarif à l'importation des bestiaux, et plus d'un agriculteur demande qu'on ne s'arrête pas en si beau chemin.

On nous avait présenté ces mesures comme une solution de la crise agricole, causée, disait-on, presque uniquement par la libre importation des blés venus de l'Amérique du Nord et aussi de l'Inde [1]. Mais la présente année n'a donné qu'une récolte médiocre comme qualité et tout à fait insuffisante comme quantité. Il est probable, dès lors, que la question du maintien ou de la suppression des droits protecteurs va être de nouveau soulevée et donner lieu à de vifs débats; il est impossible qu'on laisse compromettre de gaieté de cœur le grand intérêt de l'alimentation publique.

Je ne veux pas, on le conçoit, traiter à fond cette question; je ne veux, en rappelant ces faits, qu'arriver à la conclusion suivante. C'est qu'il faut qu'un peuple donne nécessairement une orientation à sa politique économique; il faut qu'il choisisse entre le système de la protection et celui de la liberté commerciale. Pour faire ce choix en connaissance de cause, la méthode historique suffira-t-elle? Je ne puis le croire. Faire un choix, c'est donner la préférence à telle ou telle conception des devoirs de l'État et des droits des individus; c'est apprécier à l'avance les conséquences bonnes ou mauvaises des mesures que le législateur sera appelé à prendre; c'est écouter ou repousser les exigences des intérêts privés, quand ils ne se bornent pas à réclamer la liberté, mais prétendent obtenir ou conserver des privilèges. Mais cela, c'est proprement de la science, c'est pour le cas qui nous occupe, de l'économie politique, et, puisqu'il s'agit du blé, de l'économie rurale! Il faudra donc, ce nous semble, absolument examiner, conclure, prendre parti, et ne pas se borner à une revue historique des faits antérieurs, dépourvue ou à peu près de doctrine et de système.

Car nous avons tous, et forcément, un système et une doctrine, et ceux-là même qui s'en défendent le plus, comme les hommes pratiques, industriels, agriculteurs, etc., qui dédaignent si fort les hommes de théorie, en ont une aussi, qui est de se borner à des expédients, de ne tenir compte que des intérêts d'une *classe de producteurs*, et non de la justice et de l'intérêt général. Autrement, on serait en droit de leur répéter ce que Bastiat disait déjà, il y a plus de quarante ans, dans des circonstances analogues: « A vouloir se passer de théorie, il y a la prétention excessi-

---

1. Comp. Louis GRANDEAU, *la Production agricole en France, son présent et son avenir;* Dr JULIUS WOLFF, *le Commerce des blés et la concurrence de l'Inde orientale,* traduit de l'allemand par Henry Grandeau; Dr SHINKIZI NAGAI, *l'Agriculture au Japon, son état actuel et son avenir,* traduit de l'allemand par Henry Grandeau, trois brochures gr. in-8° de 128 p. (1885); 126 p. (1887); et 99 p. (1888). Paris et Nancy, Berger-Levrault et Cie.

« vement orgueilleuse de parler sans savoir ce qu'on dit et d'agir sans « savoir ce qu'on fait. »

Ce n'est pas que je veuille traiter ici, ni même aborder d'aucun côté la grave question de savoir quelles mesures appelle, au regard de l'agriculture française ou même européenne, la concurrence des blés de l'Amérique et de ceux de l'Inde. Je veux seulement montrer qu'il faut absolument — qu'on le veuille ou non — savoir quelle direction on donnera au régime légal du commerce des blés, si l'on recevra les millions de quintaux que les pays de grande production peuvent nous apporter pour compenser le déficit de nos récoltes, ou si l'on élèvera autour de nous une muraille de la Chine qui nous préservera de l'abondance et du bon marché, dont jouiraient des nations mieux inspirées et plus intelligentes.

Pour moi, je suis de ceux qui croient que les droits de douane, quand ils cessent d'être modérés et visent à devenir protecteurs, sont toujours contraires à la justice et ne sont souvent, pour ceux qui les invoquent, qu'un vain et inutile palliatif. En les endormant dans une sécurité trompeuse, ils prolongent un état d'infériorité qu'ils sont impuissants à faire cesser, et ils sont, par là même, funestes au développement de la richesse publique.

Combien mieux inspirés seraient nos agriculteurs s'ils s'attachaient à exercer une influence que la science peut rendre prépondérante, sur la diminution des prix de revient par l'augmentation des rendements !

Mieux que personne, les lecteurs de ce recueil savent quelle brillante campagne M. Louis Grandeau mène depuis plusieurs années en vue d'engager l'agriculture française dans cette voie, où elle ne trouverait que des succès. Et je ne puis que m'associer aux conseils par lesquels s'ouvre la première série des belles *Études agronomiques* [1] du savant agronome :

« Une meilleure utilisation des fumures naturelles dont la France, au « grand détriment de l'agriculture et de la salubrité publique, perd encore « la majeure partie ; l'emploi des fumures dites commerciales (phosphates, « nitrates, sels de potasse, etc.), jointes à un bon choix de semences, tel « est, à mon avis et d'après les résultats culturaux rapportés dans ces *études*, « la voie de salut de l'agriculture. Le moindre progrès de ce côté sera « *plus rémunérateur* pour le cultivateur *que tous les droits de douanes qui* « *n'équivaudraient pas à la prohibition des produits étrangers* qu'aucun « esprit sérieux n'oserait proposer d'établir. Instruction, initiative privée, « association : tels sont, à mon avis, les trois leviers du relèvement de « l'agriculture française. Hors de là, il n'y a pas de progrès réel et durable « à attendre [2]. »

1. Louis GRANDEAU, *Études agronomiques*, 1re série (1885-1886), 3e édit. ; 2e série (1886-1887). 2 vol. in-18. Paris, Hachette et Cie.

2. *Études agronomiques*, 1re série, p. VI.

Nous croyons que tous ceux qui liront les deux volumes des *Études agronomiques* seront contraints, sinon d'adopter entièrement les conclusions de l'auteur — ce que nous n'hésitons pas à faire, pour notre part, — du moins de donner la plus sérieuse attention au très grand nombre d'expériences faites par M. Grandeau, tant à la *station agronomique de l'Est*, dont il est le directeur, qu'à l'*École pratique d'agriculture* de Tomblaine (Meurthe-et-Moselle), à la fondation de laquelle il a si puissamment contribué.

Au surplus, quelques jours seulement après avoir écrit les lignes que nous venons de rapporter, le 16 août 1886, notre éminent collègue faisait une communication des plus intéressantes au Congrès tenu à Nancy par l'*Association française pour l'avancement des sciences*. « Il faut, nous « disait-il, que l'agriculture sorte de la routine, qu'elle se transforme « comme les autres branches de la production industrielle, qu'elle aug- « mente sa production par l'emploi de méthodes scientifiques, d'une exploi- « tation rationnelle, munie d'un outillage perfectionné[1]. » Et à l'appui de sa thèse, il citait deux exemples, empruntés, l'un à l'Angleterre, l'autre à la France, de cultivateurs qui avaient su rendre la culture du blé suffisamment rémunératrice. Le premier est M. John Prout, de Sawbridgeworth (Herts), qui cultive *depuis 27 ans* du blé dans des terres de qualité moyenne; le second est M. Boutelleau (de la Charente), qui a su faire monter son bénéfice net à l'hectare, de 143 fr. en 1874, à 237 fr. en 1875 et à 380 fr. en 1884[2].

Ces réserves une fois faites sur l'espèce d'infériorité où se trouve la doctrine par rapport à l'histoire, dans l'ouvrage considérable de M. Guillaume Roscher, je n'ai plus que des éloges à donner à cet immense travail.

Le *Traité d'économie politique rurale* a eu en Allemagne un très grand succès; il y est devenu « un des principaux manuels de l'enseignement « tant universitaire que spécial; il est, en outre, le *vade-mecum* des aspi- « rants et des praticiens, grands propriétaires ou cultivateurs, soucieux « du progrès dans cette branche agricole[3] ».

Nous souhaitons qu'il reçoive en France un accueil aussi favorable, et nous devons adresser à M. Charles Vogel tous nos remerciements pour le soin, la conscience et l'habileté qu'il a montrés dans sa belle traduction de l'œuvre d'un homme qui est une des gloires de la science allemande.

Jules Liégeois,

Professeur à la Faculté de droit de Nancy.

1. *Compte rendu de la* 15e *session*. Seconde partie : *Notes et mémoires*, p. 939.
2. *Ibidem*, p. 940.
3. *Avertissement du traducteur*, p. VII.

Les Irrigations, par M. A. Ronna, ingénieur, membre du Conseil supérieur de l'agriculture. In-8°, tome Ier. 1888 [1].

La *Bibliothèque de l'enseignement agricole,* publiée sous la direction de M. A. Müntz, professeur à l'Institut agronomique, vient de s'enrichir d'un nouveau volume. Le tome Ier des *Irrigations,* par A. Ronna, le savant commentateur de MM. Lawes et Gilbert, et du docteur Völcker, dont il a fait connaître les importants travaux aux agronomes français, vient de paraître. M. A. Ronna, qui est à la fois agronome et ingénieur, entreprend dans cette œuvre de haute portée un traité complet de l'emploi l'eau en agriculture. J'indiquerai tout à l'heure les principales divisions de cet ouvrage, absolument original dans le fond et dans la forme, et qu'un savant, versé à la fois comme l'est M. Ronna dans l'art de l'ingénieur et dans la connaissance de l'agronomie, pouvait seul mener à bien. Jusqu'ici les traités que l'on possédait en France et à l'étranger, presque tous assez anciens d'ailleurs, sont des ouvrages purement techniques : les moyens de réunir, d'élever et de conduire les eaux jusqu'à leur point d'application au sol paraissent seuls avoir préoccupé leurs auteurs. L'utilisation de ces eaux, les résultats économiques et culturaux que peut produire leur emploi sont relégués au second plan, quand toutefois ils sont abordés par les écrivains auxquels je fais allusion. Si, parfois, ces derniers abordent le côté agricole de la question, leurs observations n'ont trait qu'à des régions limitées; en un mot, il s'agit, dans les ouvrages que nous possédons, soit de livres purement techniques concernant la construction des canaux d'irrigation ou celle des machines destinées à servir de moteurs, soit de monographies relatives à l'irrigation d'une contrée déterminée. M. A. Ronna a entrepris une œuvre beaucoup plus vaste, mais infiniment plus utile. Comme il le dit très justement dans sa préface, « le génie rural n'a pas de sens s'il « n'est basé sur la connaissance intime des besoins de l'agriculture et « dirigé vers son amélioration. L'ingénieur agricole et l'agriculteur ne « doivent faire qu'un. »

Dans mes *Études agronomiques* [2], j'ai dû donner la première place, en exposant l'état de mes connaissances sur les aliments des plantes, aux principes minéraux que le sol renferme ou qu'on doit lui fournir lorsqu'il ne les contient pas en quantité suffisante ou sous une forme convenable. Les matières fertilisantes, telles que les phosphates, les sels ammoniacaux, les engrais azotés et potassiques, ont été l'objet de mes études de prédilection. Mais toutes les substances indispensables à l'obtention de récoltes ne sont actives qu'à la condition que le sol et l'air

1. Libraire Firmin-Didot, in-8°, avec nombreuses figures dans le texte.
2. Librairie Hachette et Cie. 3 vol. in-8°. 1885-1888.

fournissent en même temps à la plante les énormes quantités d'eau nécessaires à leur développement.

La vie de tous les êtres organisés est étroitement liée à la présence de l'eau dans les milieux où ils se nourrissent. Aliment indispensable, dans le sens étroit du mot, l'eau joue dans la constitution et le fonctionnement de tout organisme vivant, plante ou animal, un rôle capital. L'eau entre dans la composition de tous les êtres pour une part absolument prépondérante. Le corps des animaux en contient plus de moitié de son poids 50 à 70 p. 100, suivant les espèces; un végétal, à l'état vert, en renferme bien davantage : de 78 à 85 et jusqu'à 95 p. 100 (plantes grasses, par exemple).

D'une manière générale, on peut dire que les quatre cinquièmes (80 p. 100) d'une plante sont de l'eau.

Si considérable que soit cette proportion, elle est loin cependant de donner une idée exacte des quantités d'eau nécessaire à la végétation. En effet, l'analyse ne révèle que le poids d'eau existant dans une plante au moment où on l'étudie; elle ne nous fournit aucune indication sur les masses énormes de ce liquide qui ont traversé la plante, venant du sol ou de l'atmosphère, depuis sa naissance jusqu'au moment où nous l'examinons. Il est difficile, on le comprendra, d'évaluer rigoureusement ces quantités; cependant nous possédons aujourd'hui des expériences physiologiques ou culturales assez précises pour nous donner une idée approximative du rôle considérable de l'eau dans la végétation. Nous en savons assez surtout pour nous convaincre du bienfait qui résulterait pour l'agriculture d'une utilisation aussi complète que possible de l'eau que nous laissons se perdre directement à la mer, quand nous n'avons pas, auparavant, à déplorer les ravages qu'elle cause sur son passage.

Fléau terrible dans certains cas, l'eau convenablement aménagée et utilisée est une source de bienfaits incalculables pour l'agriculture. Par une heureuse coïncidence, un système d'irrigation et d'utilisation bien entendu des eaux en agriculture est en même temps le salut des populations exposées aux ravages des inondations, car elle y mettrait fin. Malheureusement quand on a, comme je viens de le faire, lu le premier volume de M. Ronna, on éprouve un profond sentiment de tristesse en constatant que rien, ou à peu près rien n'a été fait en Europe, le nord de l'Italie excepté, comparativement à ce qui doit être tenté pour l'emploi agricole des eaux. Par contre, il faut espérer que la constatation de cet état de choses aidera à un mouvement d'opinion qui amènera un progrès si souhaitable dans cette branche du génie rural.

Revenons aux quantités d'eau nécessaires à la végétation. Variables avec les espèces végétales, ces quantités sont difficiles à préciser avec rigueur; mais des expériences faites en Angleterre par MM. Lawes et

Gilbert, en Suisse par M. Risler, en Allemagne par M. Hellriegel, Haferland, Schleiden, etc., montrent qu'elles sont très considérables et dépassent de beaucoup les chiffres qu'on pourrait supposer *à priori.*

Je me bornerai ici à quelques indications, renvoyant les lecteurs des *Annales* au chapitre très intéressant que M. Ronna a consacré à cette question.

La plante est un appareil évaporatoire d'une haute puissance. C'est par millions de litres que se compte le volume d'eau que la récolte couvrant une superficie d'un hectare aspire du sol pour le déverser ensuite, sous forme de vapeur, dans l'atmosphère. Dans les régions où il ne pleut jamais, comme certaines parties de l'Amérique, si bien étudiées au point de vue agricole par Boussingault, la végétation emprunte toute son eau à l'humidité de l'air. Mais c'est là un fait tout à fait exceptionnel, et dans les régions tempérées, en Europe, on peut dire que l'un des facteurs les plus importants de la récolte est la quantité d'eau qui naturellement ou par la main de l'homme est mise à la disposition de la plante.

D'une façon générale, on constate que la quantité d'eau mise en œuvre par la végétation correspond à plusieurs centaines de fois le poids de la substance organique fabriquée par la plante. Lawes et Gilbert ont trouvé que 1 kilogr. de grain de froment correspond à 700 à 800 kilogr. d'eau évaporée par la plante depuis sa naissance jusqu'à sa maturation. M. E. Risler, dans les expériences faites sur sa propriété à Calèves (Suisse), arrive à des chiffres du même ordre. Il en est de même des recherches de M. Hellriegel, en Allemagne. Ce savant a constaté que la production d'un kilogramme d'orge exige le passage de 700 litres d'eau au travers des tissus de la plante. Une récolte moyenne de 20 quintaux de grains à l'hectare correspondrait, d'après cela, à une consommation d'un million quatre cent mille litres d'eau (1,400,000 litres), soit à une chute d'eau pluviale de 14 centimètres pendant la période de végétation. Partout où cette quantité d'eau, en y comprenant celle que le sol a emmagasinée pendant l'hiver, ne serait pas obtenue, il faudrait irriguer.

La production d'un kilogramme de foin exige, d'après Risler, 545 kilogr. d'eau environ; soit, pour une récolte d'environ 5,000 kilogr. de foin vert à l'hectare, une chute d'eau de 28 centimètres de hauteur.

On voit, par ces quelques exemples, les terribles conséquences de la sécheresse dont sont affligées certaines régions. Sans eau, toutes les améliorations culturales sont impossibles; bien plus, il résulte des expériences prolongées de Rothamsted que l'emploi des fumures minérales augmente les exigences de la plante en eau : le fumier de ferme, au contraire, paraît exercer une action régularisatrice sur la consommation d'eau par les végétaux. En tout état de cause, l'eau est un élément capital de la production agricole. S'il est, on le sait, des sols où la végétation languit par suite

d'un excès d'eau dans la couche arable, sols que le drainage améliore si complètement, il en est bien plus encore qui, fertiles par nature ou susceptibles de fournir de hauts rendements sous l'influence des engrais, demeurent inféconds par absence d'eau. Le midi de la France, ou, pour mieux dire, le midi de l'Europe voit sa fécondité dépendre presque exclusivement du régime des pluies, et c'est par millions de francs que se traduiraient annuellement les accroissements de rendement dans ces régions, si on les soumettait à un régime rationnel d'irrigation. C'est donc une question sociale que celle de l'utilisation des eaux en agriculture et l'on ne saurait trop y attacher d'importance après l'avoir si longtemps négligée. L'ouvrage de M. Ronna, comme toutes les œuvres sorties de la plume de ce savant ingénieur, est conçu dans un esprit scientifique de la meilleure marque. Bien divisé, écrit sur un plan méthodique qui embrasse successivement tous les points de vue importants du sujet, il s'écarte autant du manuel que de l'encyclopédie, et fait dans ce vaste sujet, une part convenable à l'agriculteur, à l'ingénieur et à l'économiste.

Le traité des irrigations se divise en trois parties : 1° les canaux d'irrigation et les machines; 2° les eaux et les systèmes d'irrigation; 3° les cultures arrosées et l'économie des irrigations.

Dans la première partie, qui sera suivie, à brève échéance, des deux autres actuellement sous presse, l'auteur expose successivement les bienfaits de l'irrigation, trop peu connus en France surtout, où l'organisation des cours d'eau n'existe à peu près nulle part. Le livre II est consacré aux principes de l'irrigation ; on y étudie les phénomènes qui lient le sol et les plantes aux influences de l'atmosphère, des eaux météoriques et d'arrosage. L'examen des terrains géologiques sous le rapport du régime des eaux et de leur aptitude à la culture en prairies, auquel se joint l'étude des climats et des circonstances météorologiques qui intéressent l'irrigation, forme le livre III. Des exemples choisis en Italie, en Espagne et en France montrent les conditions avantageuses dans lesquelles se trouvent quelques territoires irrigués depuis des siècles.

Dans le livre IV, la composition des eaux naturelles, des eaux envisagées dans leur relation avec la provenance géologique des limons ou des sédiments abandonnés par les eaux de rivières, de canaux de drainage, cela sert de prodrome aux considérations sur les qualités des eaux d'irrigation. Ce chapitre entièrement neuf, et qui a entraîné l'auteur à des recherches considérables, offre un intérêt d'autant plus grand que les ouvrages de ses devanciers sont muets sur cette question capitale de la nature et des qualités des eaux d'arrosage. Enfin, le premier volume se termine par l'exposé des moyens d'approvisionner d'eau les réservoirs ou rigoles d'irrigation : puits, sources, étangs, etc.; les forces qui les mettent en mouvement, les moteurs animés ou artificiels qui les transportent sont

l'objet d'une étude des plus instructives. Près de deux cents figures complètent les descriptions du texte et en rendent la lecture attrayante et facile.

Nul doute que l'ouvrage de M. A. Ronna ne rencontre parmi les agriculteurs, autant que chez les ingénieurs, de nombreux et sympathiques lecteurs. Puisse-t-il nous aider à secouer l'indifférence, si préjudiciable aux intérêts agricoles de la France, avec laquelle la question de l'utilisation des eaux a été jusqu'ici laissée à peu près complètement de côté dans notre pays !

L. Grandeau.

Dictionnaire géographique et administratif de la France et des colonies (livraisons 1 à 6 [1]).

Voici une œuvre considérable qu'on s'étonnera peut-être de me voir signaler tout spécialement aux lecteurs des *Annales*. Malgré l'affinité de la science géographique avec l'agriculture, j'aurais laissé de côté cette importante publication, s'il ne s'agissait que de géographie descriptive. Mais le caractère très général que les auteurs ont donné au nouveau dictionnaire le rend particulièrement intéressant pour les agriculteurs. En effet, en dehors des nombreuses indications qu'il contient sur chaque point ou lieu important de la France et de ses colonies, les articles spéciaux consacrés aux départements, articles très détaillés qui n'occupent pas moins de 12 à 15 colonnes, renferment les indications suivantes avec tout le développement nécessaire : division administrative, description détaillée du relief du sol, au point de vue géologique et orographique ; description des principaux cours d'eau, canaux et lacs ; des indications précises sur le climat et sur les pluies ; une statistique très étendue, donnant tous les renseignements qu'on peut désirer sur le territoire, la propriété, la population, l'agriculture, l'industrie et le commerce, les voies de communication, les postes et télégraphes, les finances et la richesse publique, les institutions de prévoyance, l'assistance publique, la justice, etc... On y trouve aussi des notices détaillées sur toutes les forêts, sur tous les bois, avec indications, pour les forêts domaniales, de la nature des essences, du rendement, des conditions de l'exploitation, etc. On voit par cette énumération à laquelle je suis obligé de me borner, de quel intérêt est pour

---

1. Publié sous la direction de M. Paul Joanne, avec la collaboration de MM. J. Guillaume, Le Pileur, Lequeutre, Nicolas, Pelet, Élie Reclus, Élisée Reclus, Onésime Reclus, Saint-Paul, Schrader, Turquan, etc. Une livraison par mois, in-folio. Hachette et Cie. 1888.

les cultivateurs et pour les agronomes le *Dictionnaire géographique*, auquel on peut prédire le succès que mérite d'obtenir une œuvre aussi vaste que bien conçue et soigneusement exécutée.

L. Grandeau.

Études agronomiques. Troisième série (1887-1888), par L. Grandeau. Un volume in-12. — Paris, Hachette et Cie, 1888.

La librairie Hachette et Cie a publié récemment la troisième série (1887-1888) des *Études agronomiques;* en voici le sommaire :

I. La statistique agricole de la France. — Situation générale. — L'enquête agricole de 1882. — La richesse foncière de la France. — Les charges et les produits de l'agriculture de 1852 à 1882. — Rapport de M. E. Tisserand. — II. La statistique agricole de la France. — Le bétail. — Statistique du bétail. — Ce que les animaux de la ferme enlèvent de principes fertilisants au sol. — Il faut fumer nos prairies. — III. La statistique agricole de la France. — Épuisement du sol et restitution. — Le bilan chimique de la récolte des céréales en 1886. — IV. Statistique agricole de la France. — Les récoltes. — Ce qu'enlève annuellement au sol la récolte française. — Production et valeur fertilisante du fumier produit par le bétail français. — Son insuffisance pour la restitution. — V. La sélection et la culture du blé. — Une révolution économique à introduire dans la culture du blé. — Création des blés généalogiques en France. — La sélection du blé et sa plantation. — Essais de la méthode du major Hallet à l'école Mathieu-de-Dombasle. — VI. Culture expérimentale du blé à la station agronomique de l'Est, en 1886-1887. — Essais de culture du blé de la station agronomique de l'Est faits à l'école Mathieu-de-Dombasle. — Amélioration du blé de pays par sélection et par la culture. — Ce que peut donner un grain de blé. — VII. — Culture expérimentale du blé fait à la station agronomique de l'Est. — Discussion des résultats. — Les cultures expérimentales du blé à la station agronomique de l'Est en 1886-1887. — Discussion des principaux résultats de ces essais. — Conclusions pratiques qui en découlent. — VIII. Les expériences culturales de l'école de Tomblaine en 1887. — Expériences comparatives sur la valeur des engrais phosphatés pour avoines. — Action de la chaleur sur l'assimilabilité des phosphates. — IX. Le prix de revient du blé et la culture expérimentale. — Projets de cultures expérimentales de blé pour l'automne prochain. — L'École d'agriculture du Paraclet et le prix de revient du blé. — X. Dix années de culture du blé et de l'orge à Stackyaret. — Valeur comparée des sels ammoniacaux et des nitrates. — Influences des conditions météorologiques dans les expériences culturales. — XI. Les semailles de printemps. — Exigences chimiques de l'avoine, de l'orge et du maïs. — Fumure des céréales. — Conditions physiologiques des céréales de printemps. — XII. Les plantes sarclées. — Fumure des plantes sarclées : pommes de terre, betteraves, turneps, etc. — Expériences de Rothamsted, Redbourne et Cirencester, en 1886, sur l'emploi des scories de Gilchrist pour la fumure des

plantes sarclées. — XIII. Les exigences de la vigne et la fumure des vignobles. — Composition des sols de quelques vignobles de Champagne, de Bourgogne et du Bordelais. — La fumure des vignes. — XIV. Les éléments minéraux du sol et la fertilité des terres. — Remarques sur les conditions fondamentales de fertilité des sols. — Ce que nous savons et ce qu'il faudrait savoir. — Méthode de dosage du calcaire actif des sols de M. Paul de Mondesir [1]. — Dosage de l'acidité des terres. — XV. Les engrais phosphatés. — De la valeur fertilisante comparée des divers phosphates en sols siliceux. — XVI. Les gisements français de phosphates de chaux. — La richesse en acide phosphorique du sous-sol français. — Les gisements de phosphate. — Statistique officielle de la production des phosphates et des scories Thomas-Gilchrist en 1886. — XVII. Les engrais commerciaux et la loi contre la fraude du 7 février 1888. — Les engrais commerciaux. — La répression de la fraude. — La loi française du 7 février 1888. — La loi belge du 7 janvier 1888. — Le contrôle des engrais et les stations agronomiques. — Rôle des syndicats agricoles. — Le syndicat de Montmirail. — Proposition de loi de M. Maxime Lecomte. — XVIII. L'alimentation du bétail de la ferme. — La théorie moderne des aliments. — Claude Bernard et la nutrition des êtres vivants. — L'animal, comme la plante, fabrique du sucre, de la graisse, etc. — Principes immédiats des végétaux et des animaux. — Leurs analogies. — Ce qu'est la ration alimentaire ; ses divers buts à la ferme. — XIX. Le commerce et la consommation de la viande en France. — Statistique agricole de la France. — Enquête de 1882. — Rapport de M. E. Tisserand. — La consommation de la viande en France. — Valeur composée de la viande et du pain au point de vue alimentaire. — XX. L'importation de la viande et le commerce de la boucherie. — L'importation de la viande de la Plata. — Le mouton argentin. — Le prix de la viande et celui du bétail sur pied. — Où il faut chercher le remède à la situation présente du producteur européen. — XXI. Le commerce de la viande en France. — Le producteur, le chevillard, le boucher et le consommateur. — Histoire économique d'un bœuf allant de l'étable de l'éleveur sur la table du consommateur. — XXII. En vacances. — La Suisse agricole. — Les hautes vallées d'Uri et du Rhône et l'agriculture. — Circulaire du Ministre de l'agriculture sur les semences. — Un exemple de culture productive du blé dans les sols pauvres de la Franche-Comté. — XXIII. La cinquième exposition suisse d'agriculture à Neuchâtel. — L'aspect de Neuchâtel. — Résultats numériques de l'exposition. — Le bétail de la Suisse. — La station du contrôle de semences de Zurich. — XXIV. Exposition d'agriculture à Neuchâtel. — L'industrie laitière à l'exposition d'agriculture de Neuchâtel. — Le commerce et l'exportation des produits du lait. — Le sucre de lait et l'homéopathie.

---

1. Voir le *Mémoire original* de M. de Mondesir, inséré dans les *Annales de la Science agronomique française et étrangère,* t. II, 1886.

Bibliothèque de l'Enseignement agricole, publiée sous la direction de M. A. Müntz, professeur à l'Institut agronomique [1].

La bibliothèque de l'enseignement agricole, que M. A. Müntz, l'éminent professeur de l'Institut agronomique, dirige avec tant de talent, a publié déjà cinq volumes. Nous avons rendu compte des trois premiers volumes parus dans l'année 1887 [2]; un article bibliographique de notre rédacteur en chef, M. L. Grandeau, sur le livre de M. Ronna, membre du conseil supérieur de l'agriculture (*Les Irrigations,* t. I), contient un compte rendu très intéressant et complet de ce livre, écrit par un savant d'une compétence indiscutable. Deux autres volumes qui ont paru cette année, méritent aussi l'attention de nos lecteurs, auxquels nous nous empressons de les signaler. Nous en donnons ci-après une analyse sommaire.

Méthodes de reproduction en zootechnie : Croisement, sélection, métissage, par R. Baron, professeur à l'École vétérinaire d'Alfort. Un vol. in-8° avec 67 figures dans le texte. — Paris, Firmin-Didot et Cie, 1888.

Cet ouvrage, unique en son genre, fort curieux et souvent humoristique, est précédé d'une préface intéressante, où l'auteur expose le but de l'ouvrage et ses divisions. Il comprend deux parties : 1° Bases scientifiques des méthodes de reproduction; 2° Technique des méthodes de reproduction.

Nous donnons ici la division des chapitres :

Première partie. — Bases scientifiques des méthodes de reproduction.

Chapitre premier. De la reproduction en général. — Modes agames de génération. — Chapitre II. De la reproduction chez les êtres supérieurs. — Apparition de l'œuf et de la sexualité. — Complication prodigieuse de la génération gamique. — Résumé des deux premiers chapitres. — Chapitre III. Les lois de la fécondation. — En deçà comme au delà d'une certaine différenciation des éléments sexuels, la fertilité tend à décroître. — Chapitre IV. Formes et lois de l'hérédité. — Caractéristique du phénomène héréditaire. — Transmission des caractères légués depuis un temps indéfini. — Transmission des caractères acquis. — De l'hérédité perturbée. — De l'hérédité dite sexuelle. — Conclusions sur l'hérédité. — Chapitre V. De l'espèce. — Liste des cinquante principales définitions de l'espèce. — De la caractéristique de l'espèce. —

---

1. Le Secrétaire de la Rédaction des *Annales de la Science agronomique française et étrangère* adresse ici ses remerciements à M. A. Müntz et à MM. Firmin-Didot et Cie, pour l'envoi gracieux des volumes de la Bibliothèque de l'Enseignement agricole. H. Gr.

2. Voir *Annales de la Science agronomique française et étrangère,* t. I, 1887, p. 460 et suiv.

Essai d'une nouvelle notion du type spécifique basée sur la distinction entre l'unité matérielle et l'unité fonctionnelle des espèces. — Chapitre VI. Des différenciations subspécifiques. — La sexualité. — Le polymorphisme normal d'évolution. — Le polymorphysme anormal d'évolution. — L'anamorphose. — Le dichroïsme des pelages. — L'allotropie et les styles architecturaux des organismes. — Chapitre VII. De la race. — Les couples primitifs. — Théorie de Pallas. — Les deux sortes de races. — Remaniement du critère physiologique. — Les bases de l'ethnologie vraiment positive et vraiment rationnelle. — Chapitre VIII. De la variété individuelle. — L'innéité. — Exacte définition de la variété — L'adaptation. — Chapitre IX. De la variété transmise. — Intégration nécessaire des différentielles morphologiques. — Antithèse illusoire de l'évolution et de la conservation des formes organiques. — Chapitre X. De la famille physiologique. — Des diverses sortes de familles : monandrie-monogynie, monandrie-polyginie, polyandrie-monogynie et polyandrie-polyginie. — Conséquences théoriques.

Deuxième partie. — Technique des méthodes de reproduction.

Introduction. — Chapitre Ier. La sélection. — Définition du mot et de la chose. — Ancienneté du procédé sélectif. — Les exemples caractéristiques. — Les exemples vulgaires. — La mésalliance initiale. — Résumé de la sélection. — Chapitre II. La consanguinité. — Diagnose différentielle des cas de consanguinité. — Le débat des adversaires contre les partisans. — Conclusions et vues finales. — Chapitre III. Le croisement. — Division du sujet. — Part des naturalistes. — Part des praticiens. — Part des anthropologistes. — Part des zootechniciens. — Résumé du croisement. — Chapitre IV. Le métissage. — Reproduction du métis *inter se*. — La question physiologique. — Les métis célèbres. — La vogue des races pures. — Dernières considérations. — Chapitre V. L'hybridation. — Zoologie et zootechnie des mulets. — Chabins et Léporides. — Les industries mulassières dans le pays des races pures. — Resumé et coup d'œil général sur tout l'ouvrage.

Outre les figures, cet ouvrage renferme onze tableaux synoptiques, et représentations graphiques des phénomènes, qui ajoutent beaucoup d'intérêt à ce livre, dont la lecture est à la fois instructive et, nous le répétons, très amusante.

Le Cheval considéré dans ses rapports avec l'économie rurale et les industries de transport, par E. LAVALARD, administrateur à la Compagnie générale des omnibus de Paris, maître de conférences à l'Institut national agronomique. Un volume in-8° avec 89 figures dans le texte. — Paris, Firmin-Didot et Cie.

Autre ouvrage technique très intéressant et que consulteront avec profit les personnes qui élèvent, nourrissent et emploient des chevaux. Une bibliographie très bien faite, une table alphabétique des matières et une table des chapitres

facilitent beaucoup la lecture de ce traité au courant des travaux modernes. Le nom de l'auteur, qui depuis longtemps a entrepris, avec le concours de M. A. Müntz, des expériences d'alimentation rationnelle sur la cavalerie de la Compagnie générale des omnibus, offre une garantie exceptionnelle à ce point de vue.

Le peu de place dont nous disposons dans ce recueil, pour la bibliographie, ne nous permet pas de donner une analyse détaillée de cet ouvrage qui doit trouver sa place dans la bibliothèque de tout agronome ou technicien agricole.

Nous nous bornerons donc ici à donner le titre des chapitres.

Le premier volume du traité de M. E. Lavalard se divise en trois parties : Alimentation du cheval et écuries, litières, pansage, maréchalerie.

Première partie. — Alimentation du cheval. — Généralités.

Chapitre Ier. Avoine. — Chapitre II. — Grains succédanés de l'avoine. — I. Maïs. — II. Orge. — III. Seigle. — IV. Blé — V. Millet. — VI. Sarrasin. — VII. Féverole et fève. — VIII. Pois. — IX. Soya. — X. Graine de lin. — Chapitre III. Denrées diverses succédanées de l'avoine. — I. Pain. — II. Tourteaux. — III. Sons et matières sucrées. — IV. Substances animales. — Chapitre IV. Fourrages. — I. Foin. — II. Succédanées du foin. — Chapitre V. Les pailles. — Chapitre VI. Racines et tubercules. — I. Carottes. II. Topinambours. — III. Panais. — IV. Pommes de terre. — Chapitre VII. Condiments et boissons. — I. Condiments. — II. Toniques. — III. Boissons, eau. — Chapitre VIII. Composition et détermination de la ration. — Chapitre IX. Préparation et distribution des aliments.

Deuxième partie. — Écuries. — Litières. — Pansage.

Chapitre premier. Écuries. — Généralités. — I. Dispositions extérieures des écuries. — II. Dispositions intérieures des écuries. — III. Mobilier des écuries. — IV. Types d'écuries. — *a*) Écuries industrielles. — *b*) Écuries de l'armée. — *c*) Écuries de luxe. — *d*) Écuries de campagne. — Chapitre II. Litières. — Litières de paille. — Litière permanente. — Litières de sciure de bois. — Litière de tourbe. — Comparaison au point de vue économique des litières de paille, de sciure et de tourbe. — Chapitre III. Pansage des chevaux. — I. Soins à donner aux chevaux à l'écurie. — II. Soins à donner en dehors du pansage.

Troisième partie. — Maréchalerie. — Considérations générales.

Histoire de la maréchalerie. — Instruction professionnelle des maréchaux. — Décrets relatifs à l'exercice de la maréchalerie en Allemagne. — École de maréchalerie d'Alnarp (Suède). — Constructions. — Matériel de l'enseignement. — Enseignement. — Importance de la ferrure. — Chapitre premier. Considérations anatomiques et physiologiques sur le pied du cheval. — Conformation du pied : 1° parties internes, 2° parties externes. — Paroi. — Sole. — Fourchette. — Propriétés de la corne. — Influence de la longueur du sabot sur les aplombs, démonstration de M. Boulay. — Élasticité du pied. — Accroissement de l'ongle ou avalure. — Chapitre II. Maréchalerie proprement dite. — I. Bâtiments : forge et atelier de ferrure. — II. Matières premières. — III. Fa-

brication du fer à cheval. — IV. Description du fer à cheval. — Chapitre III. Pose du fer ou ferrure proprement dite. — I. Des clous. — II. Fabrication mécanique des clous. — III. Application du fer sur le sabot. — IV. Ferrures des différents genres de service. — Chevaux de luxe. — Ferrure Charlier. — Instruments employés. — Ferrure des chevaux de trait. — Ferrure Lafosse. — Ferrure en acier. — Prix de revient de la ferrure. — Ferrures des campagnes. — Ferrures à glace. — 1re classe : Ferrures en matières molles élastiques, ou supportant des appareils en matière molle élastique. — 2e classe : Ferrures à crampons métalliques. — Première famille : crampons médiats. — Deuxième famille : crampons immédiats. — 1° Clou à glace — 2° Clou Delpérier. — Autres systèmes.

H. Grandeau.

Compte rendu des principaux ouvrages sur les forêts, la chasse et la pêche, publiés à l'étranger pendant l'année 1888[1].

Anleitung zur Waldwerthberechnung, im Auftrage des Finanz-Ministers verfasst vom königl. preuss. Ministerial-Forstbureau im Jahre 1866. Gr. in-8°. Springer, Berlin. — Prix : 2 fr. 50 c.

Réédition de l'instruction, en date de 1866, à laquelle sont tenus de se conformer, en Prusse, les agents de l'administration forestière chaque fois qu'ils ont à procéder à une estimation des forêts en fonds et superficie.

Aus deutschen Forsten. Mittheilungen über den Wuchs und Ertrag der Waldbestände im Schluss- und Lichtstande. — I. *Die Weisstanne bei der Erziehung in geschlossenen Beständen,* publié par K. Schuberg. Gr. in-8°, avec 30 tableaux et 12 tracés graphiques. Laupp, Tübingen. — Prix : 7 fr. 50 c.

Un certain nombre de forestiers distingués d'Allemagne se sont proposé de publier une série de monographies des principales essences de ce pays. Ils ont compris que les matériaux amassés par les observateurs pour constituer une sylviculture rationnelle sont devenus tellement nombreux et tellement volumineux qu'un seul homme ne peut plus avoir la prétention, comme autrefois, de présenter, en tête d'un traité de sylviculture, la description complète des essences constitutives des forêts et de recueillir dans le restant du livre toutes les observations faites sur les exigences de ces essences, sur la marche de leur végéta-

1. A partir de 1889, les *Annales de la Science agronomique* publieront tous les six mois un compte rendu plus ou moins détaillé des principaux ouvrages forestiers parus à l'étranger, notamment en Allemagne, pendant le semestre écoulé. Nous commençons cette série de comptes rendus par une revue bibliographique embrassant toute l'année 1888.

tion suivant qu'elles sont élevées en taillis ou en futaie, en massif ou à l'état clair, sur les qualités de leur bois, sur leur rendement en matière, etc. Il faut absolument se partager la besogne. M. Schuberg, professeur à l'école polytechnique de Karlsruhe, est chargé de faire une monographie du sapin qui ouvre une série de publications de l'espèce, destinées à paraître prochainement. M. Schuberg était tout désigné pour cette tâche, attendu qu'il a passé sa vie au milieu ou dans le voisinage de magnifiques sapinières. Avant d'enseigner à Karlsruhe, il remplissait, en effet, les fonctions de chef de cantonnement dans la Forêt-Noire, où l'on sait que le sapin forme de splendides peuplements. Depuis lors, il n'a pas cessé de visiter ces massifs et de s'y livrer à de nombreuses expériences. Les plus récentes sont exécutées conformément au programme adopté par le congrès des stations de recherches forestières d'Allemagne, à la rédaction duquel M. Schuberg a d'ailleurs pris part. Les résultats de ces travaux, joints à ceux qu'ont recueillis d'autres observateurs, sont consignés dans l'ouvrage dont nous donnons le titre plus haut. C'est une mine féconde où pourront puiser largement tous ceux qui voudront s'occuper dorénavant de la plus précieuse essence de basse montagne de l'Europe centrale.

BACKHAUSEN. — *Zwanglose Beiträge zur Kenntniss der forstl. Verhältnisse im kgl. preuss. Regierungs-Bezirk Lüneburg.* Gr. in-8°. Helwing, Hanovre. — Prix : 2 fr. 75 c.

En Allemagne, on ne se contente pas de faire des monographies d'essences ; on entreprend aussi l'étude spéciale des différentes régions forestières de l'empire, en s'occupant tantôt d'un petit État souverain, tantôt de quelque province d'un grand État. C'est une seconde manière de diviser le travail en vue de la création d'une sylviculture rationnelle ; elle donne des résultats qui complètent ceux qu'on obtient par d'autres voies. Il est à noter que ces mémoires statistiques ne sont pas considérés comme des monuments définitifs ; leurs auteurs se proposent de les renouveler à des époques indéterminées, quand les circonstances l'exigeront ou le permettront. Les Allemands expriment cette idée en intitulant ce genre de publications : *zwanglose Beiträge*, c'est-à-dire *contributions apportées d'une façon irrégulière* à l'étude de la question envisagée. Il faudrait qu'un pareil usage s'introduisît en France. Il y a bien, de temps à autre, un travailleur qui à quelque région boisée consacre une brochure ; celle que M. Gazin a écrite sur le Chablais en est un exemple que nous citons parce qu'il est récent (in-8°. *Société des agriculteurs de France.* Paris, 1887), mais il est rare que la même personne revienne à diverses reprises sur le même sujet ou que plusieurs personnes s'en occupent successivement ; aussi, les descriptions ne tardent-elles pas à n'être plus à jour.

Beiträge zur Forststatistik in Elsass-Lothringen. 5e fascicule. Gr. in-8°. Schultz et Cie, Strasbourg. — Prix : 2 fr. 50 c.

Il s'agit d'une « contribution » à la statistique forestière d'Alsace-Lorraine. Elle forme le fascicule n° 5 d'une série de comptes rendus analogues publiés par les soins de l'administration elle-même et dont le premier remonte à 1885. Le

présent fascicule signale les changements survenus dans les contenances boisées; il fournit des données : sur le rendement des forêts domaniales en matière et en argent; sur les délivrances de feuilles mortes, faveur gouvernementale sollicitée, comme on sait, avec beaucoup d'insistance par les populations de la Basse-Alsace; sur le produit des chasses affermées ou exploitées directement par les agents; sur les semis et plantations, etc.

La lecture de ce document, relatif à une province perdue, éveillerait certainement de mélancoliques souvenirs chez les nombreux forestiers français qui ont parcouru jadis les beaux massifs du versant oriental des Vosges et de la plaine du Rhin. Nous ne ferons aujourd'hui, à son sujet, que les deux remarques suivantes qui nous sont suggérées par le fait même de la publication et non par son contenu.

La première remarque, c'est que les administrations forestières allemandes rédigent, à des intervalles rapprochés, des travaux statistiques d'ensemble. Il est regrettable que l'administration française ne fasse point de même et que les nombreux renseignements intéressants qui affluent dans les bureaux du ministère y restent généralement enfouis sans utilité pour la science. La statistique forestière de la France, dressée à l'occasion de l'Exposition universelle de 1878, eût pu servir de cadre à des relevés annuels semblables à ceux qui se publient à l'étranger. Tenue ainsi à jour et rectifiée peu à peu, l'œuvre un peu hâtive de 1878 eût fini par rendre les services qu'elle ne renferme encore qu'à l'état virtuel.

Un autre fait à noter, c'est que les documents officiels émanant des administrations allemandes sont toujours mis dans le commerce. De cette façon, ils peuvent être utilisés par les travailleurs. Il n'en a pas été généralement de même pour les publications de l'administration forestière française. Heureusement qu'à en juger par des exemples récents, le ministère de l'agriculture semble vouloir rompre avec les vieux errements.

BENTHEIM (Otto von). — *Was uns Noth thut! Wildschadenersatz aber kein Hegungsverbot, keine Eingatterung, etc.* Gr. in-8°. Luckhardt, Berlin.

La chancellerie de l'empire d'Allemagne prépare, en ce moment, un projet de code civil destiné à remplacer dans tout l'empire les codes particuliers des différents États. A la suite de l'enquête à laquelle a donné lieu ce projet, la plupart des populations rurales ont demandé qu'on introduisît dans la loi un article relatif aux dégâts causés par le gibier et stipulant que le propriétaire du terrain de chasse serait tenu d'indemniser les riverains. Cette question préoccupe les forestiers allemands, qui ont toujours considéré, avec raison, la chasse et la conservation ou plutôt l'*aménagement* du gibier comme une branche importante de l'économie forestière. Ils viennent même de discuter là-dessus dans un de leurs congrès. (Voir ci-après le compte rendu du XVIe congrès des forestiers allemands, à Aix-la-Chapelle.) Quelques organes de la presse ont exprimé l'avis qu'au lieu d'obliger le propriétaire du terrain de chasse à payer des dommages-intérêts, il fallait rendre la législation sur la chasse moins favorable à la multiplication des animaux nuisibles, supprimer les périodes où il est défendu de chasser certaines espèces, imposer aux chasseurs l'établissement de treil-

lages sur les points menacés, etc. M. de Bentheim, l'auteur de la brochure susmentionnée, combat énergiquement cette manière de voir et réclame un article posant le principe de l'indemnité.

Bericht über die XVI. Versammlung der Forstmänner zu Aachen vom 4-8. *Sept.* 1887. Gr. in-8°. Springer, Berlin. — Prix : 3 fr. 75 c.

Il y a longtemps que les forestiers de certains États ou de certaines provinces de l'Allemagne ont constitué des associations dont les membres se réunissent chaque année pour échanger leurs idées et faire des excursions en commun. Depuis la création d'un empire unitaire, il s'est formé, indépendamment de ces associations particulières, une association générale de tous les forestiers allemands. Elle organise également chaque année un congrès. Celui de 1887 s'est tenu à Aix-la-Chapelle. On a discuté les conséquences de la loi du 5 mai 1886 relative à l'assurance des ouvriers agricoles et forestiers contre les accidents et les maladies; on s'est occupé ensuite du reboisement des versants dénudés en ayant spécialement en vue la région de l'Eifel ; enfin, la 3e question examinée a été celle-ci :

Le code civil allemand, actuellement en préparation, doit-il proclamer l'obligation pour le propriétaire d'une chasse de dédommager les riverains des dégâts causés par le gibier ?

Plusieurs excursions ont eu lieu dans les environs d'Aix-la-Chapelle.

L'ouvrage précité est un compte rendu des séances et des excursions.

Bericht über die 33. *Versammlung des sächsischen Forstvereins zu Kamenz, am* 20-22. *Juni* 1887. In-8°. Librairie de l'École de Tharand. — Prix : 1 fr. 90 c.

Cette brochure se rapporte à un des petits congrès particuliers dont il vient d'être parlé à l'instant, celui de Kamenz, tenu en 1887 par l'association des forestiers saxons.

BINZER (C. A. Z. von). — *Holzpflanzenkalender für Forstmänner*. 2e édition. Voigt, Berlin. — Prix : 0 fr. 65 c.

Il s'agit d'un calendrier de Flore, à l'usage des forestiers, et où ne figurent que des plantes qu'on rencontre dans les bois.

BORGGREVE (B.) — *Die Forstabschätzung. Ein Grundriss der Forstertragsregelung und Waldwerthrechnung.* Gr. in-8° de 8-XIX-432 p. avec 16 planches lithographiées. Parey, Berlin. — Prix : 15 fr.

L'infatigable et fécond directeur de l'école forestière de Münden (Prusse) vient de faire paraître, il y a à peine 3 ans, sa *Culture des bois,* et voici qu'il publie déjà un autre ouvrage volumineux. Sous le titre de « *Forstabschätzung* » (littéralement : *estimation des forêts*), il traite à la fois de l'estimation des forêts en fonds et superficie et de leur aménagement. Les deux matières sont, en effet, connexes ; pourtant il a, peut-être, eu tort de les fusionner au point où il l'a fait. Comme la 1re fois, il heurte de front beaucoup des idées généralement ad-

mises par ses confrères des autres écoles et même par la plupart des forestiers allemands, et il expose une manière de voir qui lui est particulière. Mais, comme la 1re fois encore, ses lecteurs, en lui refusant leur pleine et entière adhésion, suivent avec curiosité et intérêt les développements dans lesquels il se plaît à entrer.

Sa pensée fondamentale est celle-ci :

Il faut rectifier les nombreuses erreurs qui se sont glissées dans la science forestière, depuis la mort du grand Hartig (1837). Celui-ci, avec son coup d'œil d'aigle, aurait presque toujours vu juste, tandis que ses successeurs, en s'écartant de sa doctrine, se seraient presque toujours trompés. M. Borggreve critique notamment la théorie *du produit net* ou de *la plus grande rente,* au sujet de laquelle il a d'ailleurs pris à partie G. Heyer, dans une brochure publiée en 1878 ; il demande aussi que les révolutions de futaie, qui ont été considérablement abrégées sous l'influence de cette théorie, soient reportées à 120, 140 et 160 ans.

On voit par là qu'en Allemagne comme en France, certains forestiers opposent les doctrines des anciens maîtres aux nouveautés contemporaines. La loi qui veut qu'il y ait des conservateurs et des progressistes se manifeste, en effet, dans tous les domaines ouverts à l'esprit humain. Comme en France aussi, les deux opinions sont parfois soutenues avec exagération et comptent des partisans trop exclusifs. Comme en France, enfin, chaque camp renferme des champions aux allures irrégulières et indépendantes, révolutionnaires à certains égards, ultra-conservateurs à d'autres, se lançant tantôt à l'avant-garde pour harceler les vieilles théories, restant d'autrefois en arrière et s'obstinant à traîner avec eux tout un attirail suranné. Tel est le cas de M. Borggreve. Son livre sur l'estimation des forêts présente, à côté de sa profession de foi en faveur des principes et des méthodes du temps jadis, des considérations nouvelles imprévues et originales. Il se divise en trois parties :

1re Partie : Principes de l'estimation des forêts ;

2e Partie : Aménagement des forêts (*Forstertragsregelung ;* littéralement : réglementation de leur rendement) ;

3e Partie : Estimation des forêts en fonds et superficie.

A ces trois grandes coupures correspondent respectivement 100, 250 et 50 pages.

Dans la 1re partie, M. Borggreve traite de l'arpentage et du cubage des peuplements, de la détermination de l'accroissement annuel des bois, de la fixation du terme de l'exploitabilité, des tables de rendement, etc.

La 2e partie, relative à l'aménagement proprement dit, comprend deux sections : 1° Exposé des principales méthodes d'aménagement imaginées jusqu'à ce jour ; 2° Procédés actuellement en vigueur pour régler l'exploitation des grandes forêts domaniales dans les États de l'Europe centrale. Cette section présente à son tour trois subdivisions. A. — *Forêts traitées en futaie « régulière ».* M. Borggreve commence par s'occuper avec beaucoup de détails de ceux des massifs de cette catégorie situés en Prusse, puis il passe successivement à la Hesse, à la Bavière, au Wurtemberg, au Grand-Duché de Bade, à l'Alsace-Lorraine, à l'Autriche, à la Hongrie, à la France, enfin à la Russie. — B. Dans une autre subdivision, l'auteur expose ses propres idées sur l'aménagement des peu-

plements d'un seul âge élevés en futaie. Ce chapitre est à la fois fort curieux et très suggestif. — C. Enfin, vient un aperçu des méthodes d'aménagement usitées dans les différents pays sylvicoles en vue de l'application de traitements autres que celui de la futaie éclaircie, à savoir : le jardinage, le traitement en taillis simple, le traitement en taillis sous futaie, les conversions. A propos du taillis composé, M. Borggreve signale les règles suivies en France, le pays où cette forme de peuplement est le plus répandue.

La 3e partie du livre (estimation en fonds et superficie) se divise en trois sections :

I. Historique des méthodes d'estimation ;

II. Solution par des procédés rationnels des principaux problèmes à résoudre ;

III. Valeurs numériques à attribuer aux données qui figurent dans ces problèmes.

Les sections I et III donnent peu prise à la critique et renferment des observations intéressantes. Ce que M. Borggreve dit, dans la section III, du prix des bois, des frais d'exploitation et du taux de placement à employer mérite d'être lu.

En ce qui concerne la section II, la plus riche en sujets de controverse, l'auteur a adopté les divisions suivantes :

A. — Principes généraux de l'estimation scientifique et rationnelle ;

B. — Étude spéciale du procédé d'estimation basé sur le *Waldreinertrag* (rente de la FORÊT), c'est-à-dire sur le revenu net obtenu en défalquant du revenu brut uniquement les frais d'impôt et de gestion, sans tenir compte des capitaux engagés. Cette rente de la forêt, qu'il ne faut pas confondre avec *la rente du sol,* une toute autre conception, correspond à peu près à ce que nous appelons en France le revenu net annuel moyen.

C. — Étude spéciale du procédé d'estimation qui consiste à évaluer séparément le sol et le peuplement, à considérer le premier comme le capital générateur à intérêts composés des différents revenus dont il est susceptible et à chercher les diverses valeurs que prend le second, suivant le parti qu'on en tire. M. Borggreve établit justement que les véritables valeurs à attribuer tant au sol qu'au peuplement sont les maximums que présentent ces deux séries de quantités.

Chronik des deutschen Forstwesens, im Jahre 1887. Ouvrage publié par W. WEISE. 13e année. In-8°. Springer, Berlin. — Prix : 1 fr. 50 c.

Cette publication a été fondée en 1873, par M. A. Bernhardt, alors directeur de l'école de Münden. Il voulait que le travailleur isolé, que sa tâche journalière retient au milieu de ses forêts, fût néanmoins en état de suivre le mouvement scientifique contemporain, et cela sans y consacrer beaucoup de temps ni d'argent.

La chronique de la sylviculture allemande a aussi pour but de fournir des matériaux au statisticien et à l'historien futur et d'indiquer au chercheur les livres propres à faciliter ses études.

M. Bernhardt a montré que la réalisation de ce vaste programme n'était pas une utopie. Il a été remplacé, au bout de quatre ans, par M. Sprengel, maître des forêts à Bonn, et par M. Weise. Ce dernier, d'abord professeur à Eberswalde,

actuellement à Karlsruhe, est demeuré seul rédacteur depuis 1884. Il continue à la diriger conformément aux vues de Bernhardt.

Les titres des principaux chapitres du volume de cette année confirment ce que nous venons de dire :

Changements survenus dans le personnel des administrations forestières ; — Météorologie ; — Science forestière (sylviculture, exploitation des forêts, transport des bois, cubage, aménagement, estimation en fonds et superficie) ; — Droit forestier ; — Expérimentation ; — Statistique ; — Enseignement ; — Congrès.

DALCKE (A.) — *Das preussische Jagdrecht*. 2e édition. In-8°. Kern. Breslau. Prix : 6 fr. 25 c.

Le droit de chasse en Prusse.

DANCKELMANN (Dr B.). — *Die Ablösung und Regelung der Wald-Grundgerechtigkeiten.* — 2e partie : *Die Ablösung und Regelung im Besonderen.* — 3e partie : *Hülfstafeln für Werthermittelung.* Gr. in-8°. Springer, Berlin. — Prix : 18 fr. 75 c.

M. Danckelmann, directeur de l'École de Neustadt-Eberswalde, est docteur en droit et possède une compétence spéciale à l'égard des questions qui sont à la fois du domaine de la jurisprudence, de l'économie politique et de l'économie forestière. Les deux dernières parties de son grand ouvrage sur la réglementation et le rachat des droits d'usage forestiers viennent de paraître. La 2e partie est consacrée à l'examen de divers cas qui peuvent se présenter dans cet ordre d'idées. La 3e renferme des tables destinées à abréger les calculs d'estimation.

En France, les droits d'usage dont étaient grevées beaucoup de forêts domaniales ont été, comme on sait, presque tous cantonnés il y a une trentaine d'années. Le livre de M. Danckelmann n'est donc pas un de ceux dont les agents de l'administration française aient besoin de prendre connaissance, d'autant moins que l'auteur s'est naturellement placé au point de vue imposé par la législation prussienne. Cependant les hommes d'étude y trouveront de nombreux éléments pour l'édification d'une théorie rationnelle du cantonnement des droits d'usage et ils rapprocheront avec intérêt les solutions proposées par M. Danckelmann du système imaginé par un autre jurisconsulte forestier, M. Puton, directeur de l'École de Nancy.

DOMBROWSKI (Raoul, Ritter von). — *Lehr- und Handbuch für Berufsjäger.* 2e édit. Gr. in-8°. Perles, Vienne. — Prix : 12 fr. 50 c.

M. le chevalier de Dombrowski est un publiciste autrichien très versé dans tout ce qui a nom chasse, cynégétique, vénerie, fauconnerie, etc. Il est intarissable sur ces sujets. Entre autres ouvrages qu'il vient de faire paraître par fascicules, mentionnons son *Manuel à l'usage des personnes qui chassent par profession.* Bien que ce titre vise seulement les agents ou gardes forestiers, les capitaines des chasses et les piqueurs, l'ouvrage s'adresse à tous les chasseurs en général.

Encyklopädie (*Allgemeine*) *der gesammten Forst- und Jagdwissenschaften*. Ouvrage publié sous la direction de M. de Dombrowski. Gr. in-8°. Tome III, livraisons 11 à 18. Tome IV, livraisons 1 à 11. — Perles, Vienne. — Prix : 1 fr. 25 c. par livraison.

Cette encyclopédie forestière, à laquelle a été donnée la forme commode d'un dictionnaire, prend des proportions considérables en rapport avec l'étendue des matières traitées. Trois volumes, de plus de 600 pages chacun, ont déjà paru depuis 1886 ; le 4e volume en est déjà aux deux tiers de son achèvement (11 livraisons sur 18) et l'on en est seulement à la lettre G. Cela présage encore de nombreuses livraisons dont la dernière ne verra le jour que dans plusieurs années. Bien que toutes les branches de la science forestière doivent entrer dans l'édification de ce monument, la chasse et la zoologie y occupent une place prépondérante. Cela tient évidemment à la spécialité du directeur qui s'est attribué la part du lion. Empressons-nous d'ajouter que tous les articles sont rédigés par des personnes compétentes et que des planches d'une exécution remarquable, comme toutes celles qui sortent des presses de Vienne, complètent le texte chaque fois que cela est nécessaire. Parmi les collaborateurs de M. de Dombrowski, nous citerons MM. Exner et de Guttenberg, professeurs de technologie et de météorologie à l'Institut agronomique de Vienne, M. Robert Hartig, professeur de botanique forestière à l'université de Munich et M. Judeich, professeur d'aménagement à Tharand.

Forstgesetz (*Das*) *für das Königreich Baiern*. (Nouvelle codification de 1879) 2e édition. Beck, Nördlingen. — Prix : 2 fr. 50 c.

Texte complet de la législation forestière bavaroise.

Forst- und Jagd-Lexikon (*Illustrirtes*), publié par M. H. Fürst. Gr. in-8° de 827 pages, avec 580 figures intercalées dans le texte. Parey, Berlin. — Prix : 25 fr.

Tandis qu'en France rien n'est encore venu remplacer les dictionnaires de Baudrillart, qui datent déjà d'il y a 60 ans, voici la troisième grande publication encyclopédique en langue allemande dont les forêts et la chasse aient été l'objet dans ces derniers temps. La première est l'encyclopédie de M. de Dombrowski, mentionnée plus haut, la deuxième, le manuel de M. Lorey, auquel nous arriverons tout à l'heure.

M. Fürst, directeur de l'École d'Aschaffenbourg, a réalisé son entreprise avec l'aide de deux des professeurs de cet établissement, MM. Esslinger et Prantl ; il s'est adjoint en outre quelques personnes du dehors, notamment MM. Altum et Runnebaum (Eberswalde), Baur, Gayer et Weber (Munich), Bühler (Zurich). Les treize collaborateurs se sont partagé la tâche suivant leurs aptitudes et leurs spécialités. M. Fürst s'est réservé la sylviculture proprement dite ; M. Weber s'est chargé de l'aménagement, M. Bühler des questions économiques, M. Gayer de l'exploitation, M. Bauer du cubage et de l'estimation.

La forme du dictionnaire a été adoptée comme pour l'encyclopédie de M. de Dombrowski, mais l'œuvre de M. Fürst a été conçue suivant un plan beaucoup

moins vaste ; grâce à cette circonstance elle a déjà pu être terminée. Les articles sont généralement concis ; pourtant, leurs dimensions relatives ne cadrent pas toujours avec l'importance des sujets traités. Ceux qui ont été rédigés par M. Fürst lui-même sont le plus en harmonie avec la destination du livre, qui est de permettre aux forestiers de suppléer rapidement aux lacunes de leurs connaissances théoriques. Les figures intercalées dans le texte sont nombreuses et bien dessinées.

Förster (G. R.). — *Das forstliche Transportwesen.* In-4° avec un atlas comprenant 40 planches photolithographiques. Perles, Vienne. — Prix : 27 fr. 50 c.

Cet important ouvrage sur le transport des bois est un exposé très complet de tous les moyens qu'on peut employer pour effectuer la vidange des coupes. Il ne se contente pas de donner des conseils pratiques sur la construction des chemins carrossables et sur l'installation des *schlittwegs,* glissoires, canaux de flottage et autres appareils usités dans certaines régions montagneuses. Il indique aussi les avantages et les inconvénients de tous ces systèmes de transport. Enfin il décrit toutes les phases de l'abatage et de l'enlèvement des produits en insistant sur la manière de faciliter ces travaux et de diminuer les frais qu'ils nécessitent. L'auteur remplit les fonctions de maître des forêts à Gmunden, dans les Alpes autrichiennes, où les difficultés que rencontre la traite des bois ont été heureusement vaincues, et où le flottage se pratique en grand : il était donc mieux que personne en état d'étudier la valeur relative des divers modes de transport. Son livre se recommande aux propriétaires ou industriels qui veulent entreprendre l'exploitation d'un massif boisé, comme aussi à tous les agents chargés de créer ou d'entretenir un vaste réseau de routes forestières. Voici les divisions de l'ouvrage :

1re *partie :* Le transport des bois sur le parterre des coupes ou jusqu'au lieu de dépôt provisoire. 2e *partie :* Le transport ultérieur vers les centres de consommation. — Chapitre I. Charrois. — Chapitre II. Glissoires en terre. — Chapitre III. Glissoires en bois. — Chapitre IV. Appareils en fil de fer. — Chapitre V. Routes forestières. A) Chemins sommairement établis (chemins de 3e ordre) ; B) Chemins pourvus des installations indispensables pour assurer leur conservation et leur sécurité (chemins de 2e ordre ou petites routes) ; C) Routes servant également aux transports ordinaires (chemins de 1er ordre). — I. Étude. — II. Exécution. — Chapitre VI. Chemins de fer forestiers. — Chapitre VII. Chemins funiculaires. 3e *partie :* Transports par eau. 1re *section.* Flottage à bûches perdues. — Chapitre I. En quoi consiste ce mode de flottage ; services qu'il rend. — Chapitre II. Retenues d'eau. — Chapitre III. Constructions à établir le long des cours d'eau. A) Protection des bords contre les érosions ; B) Régularisation des torrents ; C) Protection contre les avalanches ; D) Ouvrages destinés à arrêter les terres sur les pentes ; E) Travaux d'amélioration générale des cours d'eau flottables. — Chapitre IV. Ouvrages destinés à recueillir les bois flottés. — Chapitre V. Renseignements divers sur les constructions hydrauliques. — Chapitre VI. L'opération du flottage. 2e *section.* Le flottage sur des eaux tranquilles. 3e *section.* Le transport des bois par bateaux. 4e *section.* Transport par trains et radeaux. — 4e *partie.* Manipulation des bois sur les lieux de dépôt. — Bibliographie. — Tableaux.

Frey (Ludwig). — *Die Methode der Tauschwerthe. Ein Beitrag zur Waldwerthrechnungs-Frage.* Gr. in-8°. Springer, Berlin. — Prix : 2 fr. 50 c.

La question si complexe et si controversée de l'estimation des forêts en fonds et superficie donne lieu à chaque instant, en Allemagne, à des articles de revue et des ouvrages où elle est présentée sous l'une de ses faces. M. Frey vient de contribuer à cette étude en traitant de la méthode qui consiste à attribuer au sol et aux peuplements leur valeur d'achat actuelle, telle qu'elle résulte de la loi de l'offre et de la demande, sans tenir compte des revenus futurs que ces deux facteurs de la production renferment à l'état virtuel. C'est la méthode appelée chez nous procédé des marchands de bois, que préconise M. Puton, directeur de l'Ecole de Nancy, et qu'il déclare devoir être employée chaque fois qu'une forêt est mise dans le commerce.

Fürst (Hermann). — *Die Pflanzenzucht im Walde. Ein Handbuch für Forstwirthe, Waldbesitzer und Studierende.* 2e édition, revue et augmentée. Gr. in-8°. Springer, Berlin. — Prix : 6 fr. 25 c.

Sous le titre de : *L'éducation des végétaux forestiers*, M. H. Fürst, directeur de l'École d'Aschaffenbourg, a rédigé un excellent manuel de sylviculture à l'usage des forestiers et de ceux qui sont appelés à le devenir. Conformément à une division du travail depuis longtemps effectuée en Allemagne, l'auteur donne des notions de culture des bois sans pénétrer dans le domaine de l'aménagement, qui constitue une science à part, distincte de la première.

Gayer (K.). — *Die Forstbenutzung.* 7e édition. Gr. in-8°. Parey, Berlin. Prix : 16 fr. 25 c. (relié).

L'*Exploitation des forêts* de l'éminent professeur de Munich vient déjà de parvenir à sa 7e édition. Ce livre jouit en effet, en Allemagne, d'une réputation méritée. Nous n'avons en France qu'un seul auteur qui ait traité d'une façon plus magistrale et plus detaillée que M. Gayer les questions relatives à l'abatage des bois, à leur façonnage et à leur transport. Cet auteur, c'est notre illustre Duhamel du Monceau. Mais ses œuvres, trop oubliées, remontent à plus d'un siècle et personne chez nous n'a encore osé entreprendre de les mettre à jour.

Grothe (O.). — *Forstliche Rechenaufgaben.* 3e édit. Gr. in-8°. Springer, Berlin. Prix : 1 fr. 75 c.

Recueil de problèmes d'arithmétique relatifs aux travaux forestiers.

Handbuch der Forstwissenschaft. Publié par le docteur Tuisko Lorey, professeur de science forestière à l'Université de Tübingen. 3 volumes gr. in-8° de XIV-630, VIII-614 et VIII-576 pages. Laup, Tübingen. — Prix : 52 fr. 50 c.

Sous le titre modeste de *Manuel de la science forestière*, M. Lorey a publié en 42 livraisons, dont les 7 dernières ont paru en 1888, une véritable encyclopédie,

qui ne le cède en rien, sous le rapport de l'importance, à celles de M. Fürst et de M. de Dombrowski mentionnées plus haut. M. de Dombrowski aura produit, dans un certain nombre d'années, une œuvre beaucoup plus volumineuse, mais nous doutons qu'elle soit supérieure au point de vue de la valeur scientifique. M. Lorey a, d'ailleurs, adopté un tout autre plan que les deux autres publicistes et il ne leur fait point, à proprement parler, concurrence. Au lieu de donner à son ouvrage la forme d'un dictionnaire, il a traité ou fait traiter par ses collaborateurs, dans un ordre méthodique, les différentes branches de l'économie forestière. Aussi le manuel de M. Lorey a-t-il une destination spéciale. Tandis que les encyclopédies de M. Fürst et de M. de Dombrowski ont pour but de fournir à l'homme du métier des renseignements détaillés sur un point qui a attiré son attention, le manuel de M. Lorey s'adresse à l'homme d'étude qui veut prendre un aperçu, sinon de l'ensemble de la science forestière, du moins de tout un département de ce vaste domaine. Quiconque veut se mettre dans le moindre temps possible au courant de l'état actuel des connaissances sylvicoles en Allemagne doit lire ce manuel. Pour compléter notre compte rendu, nous allons reproduire ci-après le plan de l'ouvrage en indiquant les noms et qualités des différents collaborateurs que M. Lorey a recrutés en Allemagne, en Autriche et en Suisse.

Tome I.

A. *La science forestière. Considérations générales.*

I. Objet de l'exploitation des forêts. Aperçu des principaux buts de la production forestière et des moyens employés pour les atteindre, par le Dr WEBER, professeur à l'Université de Munich.

II. Enseignement et expérimentation, par le Dr LOREY, professeur à l'Université de Tübingen.

III. Histoire des forêts, par le Dr SCHWAPPACH, professeur à l'École d'Eberswalde.

B. *Théorie de la production forestière.*

IV. Étude des sols, par le Dr RAMANN, professeur à l'École d'Eberswalde.

V. Botanique forestière, par le Dr LUERSSEN, professeur à l'École d'Eberswalde.

VI. Culture des bois, par le Dr LOREY, déjà nommé.

Tome II. (*Suite de la Théorie de la production forestière*).

VII. Protection des forêts, par le Dr FÜRST, directeur de l'École d'Aschaffenbourg.

VIIa. Les torrents et les avalanches, leur origine et leurs effets ; moyens de les combattre, par M. FÖRSTER, conseiller des forêts à Gmunden.

VIII. Propriétés techniques des bois, par le Dr EXNER, professeur à l'Institut agronomique de Vienne.

IX. Utilisation des produits forestiers, savoir :

IXa. Abatage, façonnage et conservation des bois, par le Dr STÖTZER, maître des forêts à Hildburghausen.

IXb. Production agricole dans les forêts, par le Dr BÜHLER, professeur à l'École polytechnique de Zurich.

IX^c. Transport des bois, par M. Schuberg, professeur à l'École polytechnique de Karlsruhe.

IX^d. Technologie chimico-forestière, par le Dr Schwackhöfer, professeur à l'Institut agronomique de Vienne.

IXe. Vénerie, par le Chev. R. de Dombrowski, à Vienne.

IX^f. Pêche, par le Dr Metzger, professeur à l'École de Münden.

Tome III.

C. *Théorie de l'exploitation des forêts.*

X. Estimation des forêts en fonds et superficie et statique, par le Dr Lehr, professeur à l'Université de Munich.

XI. Cubage des bois, par M. de Guttenberg, professeur à l'Institut agronomique de Vienne.

XII. Aménagement des forêts, par le Dr Judeich, directeur de l'École de Tharand.

XIII. Gestion des forêts, par le Dr Schwappach, déjà nommé.

D. *Économie politique appliquée aux forêts*, par le Dr Lehr, déjà nommé.

Hartig (R.) und R. Weber. — *Das Holz der Rothbuche in anatomischer, physiologischer, chemischer und forstlicher Richtung.* Gr. in-8°. Springer, Berlin. — Prix : 10 fr.

Cette monographie du hêtre ne fait pas double emploi avec celle que M. Baur a publiée en 1881 (*Die Rothbuche, in Bezug auf Ertrag, Zuwachs und Form.*) M. Baur n'a étudié le hêtre qu'au point de vue purement forestier, c'est-à-dire en s'occupant de la forme de sa tige, de son accroissement et de son rendement en matière. MM. R. Hartig et R. Weber, qui sont les collègues de M. Baur à l'Université de Munich, ont, en outre, examiné le bois de hêtre aux points de vue anatomique, physiologique et chimique. C'est M. Hartig qui s'est chargé de cette partie du travail. Son nom la recommande à l'attention des forestiers : ils y trouveront réunis les renseignements les plus exacts qu'on puisse posséder aujourd'hui sur les qualités, les maladies et les défauts d'une matière première qui, sans avoir autant d'usages que le chêne, tend, de plus en plus, à lui être substituée. Le hêtre, est en effet, l'essence feuillue la plus importante du nord de l'Europe ; en vertu de son tempérament elle sera, sans doute, toujours l'élément prépondérant des futaies de plaine ; il faut donc avoir recours à ses produits pour parer à la disette de bois d'œuvre qui nous menace à une échéance relativement rapprochée.

Hess (R.). — *Encyklopädie und Methodologie der Forstwissenschaft.* 2e partie. 1re livraison. Beck, Nördlingen. — Prix : 5 fr. 50 c.

M. le Dr Richard Hess, professeur à l'Université de Giessen, est un compilateur infatigable. Après avoir déjà publié de nombreux ouvrages d'érudition, notamment son *Précis d'un cours de sylviculture* (*Die Eigenschaften und das forstliche Verhalten der wichtigsten in Deutschland vorkommenden Holzarten,* Parey, Berlin 1883) et ses *Biographies forestières* (*Lebensbilder hervorragender Forstmänner,* Parey, Berlin 1885), il a entrepris d'écrire à lui seul une encyclopédie

forestière. C'est la quatrième que nous ayons à mentionner dans un compte rendu qui n'embrasse pourtant qu'une année. Mais l'œuvre de M. Hess n'est pas encore achevée et nous ne la décrirons que plus tard. Nous nous contenterons de dire, pour le moment, que l'auteur s'attache surtout à montrer les rapports qui existent entre les différentes parties de la science sylvicole et la façon dont il convient, selon lui, de constituer cet ensemble de connaissances en un corps de doctrine.

Jahrbuch des schlesischen Forstvereins. Ouvrage publié par le baron VON DER RECK. Gr. in-8°. Morgenstern, Breslau. — Prix : 7 fr. 50 c.

Annales de l'Association forestière de Silésie. C'est l'une des principales associations de l'Allemagne : la Silésie, pays de grandes propriétés et de grandes forêts, compte, en effet, beaucoup de vastes domaines boisés, appartenant surtout à l'État ou à des grands seigneurs (ensemble 1,156,841 hectares, dont 1,000,509 de résineux), et les gérants de ces propriétés sont tous pourvus d'une instruction professionnelle étendue qui les porte à se réunir pour conférer de leurs travaux. La Société date déjà de 1841 ; elle publie des Annales qui renferment, outre les comptes rendus des congrès annuels, des articles scientifiques divers.

Jahresbericht über die Beobachtungsergebnisse der forstl. meteorologischen Stationen. Compte rendu publié pour l'année 1887 par A. MÜTTRICH. 13e année. Gr. in-8° avec atlas in-4°. Springer, Berlin. — Prix : 1 fr. 90 c.

Tous les ans, M. Müttrich, professeur à l'École d'Eberswalde, réunit et publie les résultats des observations de météorologie forestière effectuées sur différents points de l'Allemagne. Comme ces observations ont été faites conformément à un plan d'ensemble arrêté par des représentants de toutes les administrations, elles fournissent des données comparables entre elles, et contribueront certainement beaucoup à dissiper les incertitudes qui règnent encore sur les influences climatériques des forêts. Il est regrettable que les expériences inaugurées en France par M. Mathieu, et qui sont continuées dans les environs de Nancy par la station de recherches établie près de l'École forestière, n'aient point reçu l'extension qu'elles ont prise en Allemagne. L'administration française a eu une idée heureuse en coopérant à la création et à l'entretien de l'observatoire du pic de l'Aigoual ; mais les relevés qu'on y exécute sont plutôt du domaine de la météorologie générale que de la météorologie forestière.

Jahresbericht der forstlich-phänologischen Stationen Deutschlands. 2e année. 1886. Gr. in-8°. Springer, Berlin. — Prix : 2 fr. 50 c.

Les délégués des stations d'expérimentation forestière d'Allemagne ont dressé un plan suivant lequel on effectue, sur divers points de l'empire, des observations *de phénologie forestière*, c'est-à-dire relatives aux phénomènes de la vie végétale et animale qui se manifestent dans les forêts. Nous citerons, par exemple, l'apparition des premières feuilles des arbres, la phase de leur pleine floraison, l'arrivée ou le départ de certains oiseaux migrateurs. On espère arriver de la

sorte à mieux connaître les conditions favorables à la production sylvicole. Les résultats de ces observations seront publiés tous les ans ; voici la seconde fois qu'ils paraissent. En France, à la suite du congrès de météorologie de Vienne et sur la demande du Bureau central de météorologie, l'administration forestière a aussi prescrit des relevés de ce genre, mais nous ne savons pas s'ils sont fidèlement effectués ni surtout si les résultats en sont soigneusement recueillis.

Just. — *Die Unfallversicherung der in land- und forstwirthschaftlichen Betrieben beschäftigten Personen.* Gr. in-8°. Siemenroth et Worms, Berlin. — Prix : 8 fr. 75 c.

On sait qu'un des points du programme du prince de Bismarck a été la création d'une caisse d'assurances contre les accidents des travailleurs agricoles et forestiers. Le livre sus-mentionné s'occupe de cette œuvre si fortement imprégnée de socialisme d'État,

Kollmann (A.). — *Preussens Jagdgesetze.* In-8°. Bagel, Dusseldorf. Prix : 2 fr. 25 c.

Législation de la chasse en Prusse.

Kottmeier (H.). — *Kurzer Leitfaden zum forstlichen Unterricht an landwirthschaftlichen Schulen.* Gr. in-8°. Helwing, Hanovre. — Prix : 2 fr. 50 c.

Dans les écoles d'agriculture de Prusse, on donne aux élèves des notions sommaires de sylviculture. C'est d'ailleurs aussi ce qui a lieu, croyons-nous, dans des établissements analogues de France. L'ouvrage que nous venons de signaler indique les principaux points de cet enseignement élémentaire.

Orengel. — *Die Forstverwaltung im Königreich Sachsen.* In-8°. Diller et fils, Pirna. — Prix : 2 fr. 50 c.

Exposé de l'organisation du service forestier dans le royaume de Saxe. Ce pays est, croyons-nous, de tous les États d'Allemagne celui où la sylviculture est le plus raffinée et où l'exploitation des forêts est réglée avec le plus de soin et de minutie. Par contre, c'est un de ceux où on coupe les bois à l'âge le moins avancé, en vertu de la théorie de la plus grande rente foncière qui y est appliquée même aux forêts domaniales.

Pressler (Max). — *Forstliches Hülfsbuch für Schule und Praxis.* 2e partie, publiée par M. Neumeister, 5e section. Gr. in-8°. Perles, Vienne. Prix : 2 fr. 50 c.

La première partie de l'*Aide mémoire du forestier à l'école et dans le service* est arrivée à sa 6e édition, en 1874, du vivant de Pressler. Elle renferme des tables nombreuses pour abréger le cubage et l'estimation des bois, et faciliter les travaux d'aménagement. Mais le savant mathématicien de Tharand est mort avant d'avoir terminé la seconde partie de ce *vade-mecum.* M. Neumeister, un de ses collègues, s'est chargé de mettre en œuvre les matériaux accumulés par le défunt, et il est en train de publier successivement les différents chapitres dans lesquels il les a groupés.

Resultate der Forstverwaltung im Regierungsbezirk Wiesbaden. Jahrgang 1886. Compte rendu publié par la régence royale de Wiesbaden. Rud. Bechtold et Cie, Wiesbaden.

Ce document confirme une fois de plus des faits que nous énoncions plus haut à propos de la statistique forestière d'Alsace-Lorraine, à savoir, que les administrations allemandes publient chaque année et mettent dans le commerce des comptes rendus de leur gestion. Il s'agit ici des résultats obtenus en 1886, par le service forestier, dans la régence de Wiesbaden, l'ancien duché de Nassau devenu prussien en 1866. L'exposé statistique en question porte successivement sur la contenance boisée (forêts domaniales : 222,730 hect. ; communales : 167,103 hect. ; de majorats : 2,905 hect.) ; sur les chemins de vidange qu'on est en train d'établir suivant un plan d'ensemble dans chaque cantonnement ; sur les délits et les incendies ; sur le rendement en matière ligneuse (il s'élève en moyenne à $4^{mc},1$ par hectare, dont 12 p. 100 de bois d'industrie) ; sur le rendement en argent (rendement brut par hectare, 34 fr. 78 c., dont 32 fr. 19 c. pour le bois ; rendement net 17 fr. 49 c. ; — prix du mètre cube : 8 fr. 10 c.) ; sur les repeuplements artificiels ; sur les frais d'abatage et de façonnage ; sur le nombre des pièces de gibier abattues par les soins de l'administration.

Reuss (E.), Juri-Forstmeister. — *Die Schälbeschädigung durch Hochwild, speciell in Fichtenbeständen.* Gr. in-8° de 233 pages. Springer, Berlin. — Prix : 6 fr. 25 c.

On voit par le titre de ce livre combien le gibier est abondant dans les pays germaniques et combien les forestiers de ces pays sont soucieux de concilier avec la sylviculture ce que nous pourrions appeler la « *fericulture* », puisqu'un auteur vient de consacrer un ouvrage grand in-8°, de 233 pages, à la décortication des arbres par les cerfs et les daims, dans les peuplements d'épicéa. M. Reuss, qui remplit les fonctions de maître des forêts en Bohême, vise spécialement les massifs de cette contrée ; mais ses conseils s'étendent à l'Autriche et à l'Allemagne entières. Il indique les causes des dégâts commis par les grands animaux, leur importance au point de vue économique et financier, enfin les moyens de les éviter.

Saalborn, Oberförster. — *Jahresbericht über die Leistungen und Fortschritte in der Forstwirthschaft.* 9ter Jahrgang 1887. Gr. in-8°. Sauerländer, Francfort. — Prix : 3 fr.

M. Saalborn, en publiant son compte rendu annuel des progrès réalisés dans le domaine sylvicole, poursuit le même but que celui en vue duquel a été fondée, il y a 13 ans, la *Chronique forestière allemande*, dont nous avons parlé plus haut Les Annales de M. Saalborn paraissent depuis 1879.

Schrœder (E. A.). — *Fischerei-Wirthschaftslehre der natürlichen Binnengewässer.* Gr. in-8°. Schönfeld, Dresde. — Prix : 8 fr. 75 c.

De même qu'il y a une connexité intime entre l'exploitation des forêts et celle de la chasse, il y en a une également entre la sylviculture et la pisciculture.

Aussi le décret en vertu duquel la surveillance de la pêche et le repeuplement des cours d'eau ont été enlevés au service forestier doit-il être considéré comme un acte regrettable ; et tous les efforts des économistes clairvoyants doivent tendre à restituer son titre et ses attributions à la vieille institution que nos pères ont appelée Administration des eaux et forêts. Les agents des ponts et chaussées sont hors d'état, en raison de leur origine, de leurs études et de leurs travaux habituels, de s'adonner d'une façon convenable aux soins que nécessite la conservation et la multiplication du poisson de rivière ; c'est aux agents forestiers qu'incombe cette tâche, à eux qui s'occupent déjà de l'exploitation d'un autre bien naturel, le bois, et qui ont appris comment on élève et régénère les êtres vivants dont il provient.

En Allemagne, les liens qui rattachent la pisciculture à la sylviculture sont rarement perdus de vue et la plupart des agents forestiers sont chargés de repeupler les eaux dépendant des forêts qu'ils administrent. M. Schrœder a consacré à cette question le livre mentionné ci-dessus.

SCHUMACHER (H.). — *Die Buchennutzholz-Verwerthung in Preussen, mit besonderer Berücksichtigung des eigentlichen Buchengebietes im Westen der Monarchie.* Gr. in-8°. Parey, Berlin. — Prix : 3 fr. 75 c.

Les forestiers allemands qui se placent au point de vue cultural appellent le hêtre le *père nourricier* de la forêt (*Die Nährmutter des Waldes*). Mais ceux qui considèrent le peu d'emplois industriels qu'a reçus, jusque dans ces derniers temps, le bois de cette essence, ont donné au hêtre la dénomination moins flatteuse d'*aristocrate fainéant* (*fauler Waldaristokrat*).

Leur manière de voir devient de moins en moins justifiée, car, par suite du développement extraordinaire que prend la consommation du bois parallèlement à celle du fer, le hêtre tend de plus en plus à être utilisé comme bois d'œuvre. M. Schumacher examine cette question en ce qui concerne la Prusse et particulièrement la partie occidentale de la monarchie, la partie orientale étant hors de l'aire d'habitation optima du hêtre.

SCHWAPPACH (Ad.). — *Handbuch der Forst- und Jagdgeschichte Deutschlands.* 2 vol. in-8° de 892 p. Springer, Berlin. — Prix : 25 fr.

Nous avons déjà eu l'occasion de citer M. Schwappach, en parlant du manuel de M. Lorey. Il s'est chargé, en effet, de rédiger la partie du manuel relative à l'histoire de la sylviculture et de la chasse. Son travail est le résumé de l'ouvrage dont nous venons de donner le titre et qui a été publié en 3 livraisons. La 1re livraison a paru dès 1886 ; elle forme, avec la 2e, le tome Ier de l'ouvrage ; la 3e livraison vient seulement d'être mise en vente. L'histoire de M. Schwappach est un monument à mettre en regard de celle de Bernhardt, qui remonte à 1872 ; l'auteur a utilisé, pour l'écrire, une foule de documents nouveaux qu'il a consultés lui-même dans divers dépôts d'archives, au prix de beaucoup de temps, de peine et d'argent ; il mérite donc toutes nos félicitations. Nous lui reprochons seulement d'être parfois un peu diffus et de n'avoir pas toujours su mettre bien en évidence les faits saillants de chacune des périodes dans lesquelles il a par-

tagé le temps passé. M. Schwappach ne s'occupe naturellement, comme Bernhardt, que de sa patrie. Quand aurons-nous une histoire de la sylviculture française?

TRUBRIG (Dr J.). — *Die Waldwirthschaft der Römer.* Gr. in-8°. Perles, Vienne. Prix : 1 fr. 50 c.

Des jurisconsultes ont déjà rendu compte, en France, de la façon dont les forêts étaient *administrées* chez les Romains, mais aucun forestier, chez nous, n'a encore fait de recherches sur la manière dont elles étaient *traitées* aux points de vue cultural et économique. Ce sujet a attiré l'attention de M. Trubrig, qui vient de lui consacrer un petit livre.

TUBEUF (Karl, Freiherr von). — *Beiträge zur Kenntniss der Baumkrankheiten.* Gr. in-8° de 61 p. avec 5 planches lithogr. Springer, Berlin. — Prix : 5 fr.

M. de Tubeuf, Privatdozent à l'Université de Munich, est un élève de M. Robert Hartig. A l'exemple de son maître, il étudie les maladies des arbres et contribue à en faire connaître la nature et la cause aux praticiens. Dans la présente publication, il signale des champignons qui attaquent l'*Abies Douglasii,* l'épicéa, le pin du lord et l'aune blanc.

URICH. — *Die deutsche Holzzollgesetzgebung und ihre Einwirkung auf die Nutzholz-Einfuhr und Ausfuhr nach bezw. von Deutschland.* Gr. in-8°. Parey, Berlin. — Prix : 0 fr. 65 c.

Le système protecteur est, comme on sait, appliqué, dans l'empire allemand, à toutes les catégories de produits, à ceux de la terre comme à ceux des manufactures. M. Urich examine, dans la présente brochure, quel a été l'effet de ce système sur les importations et les exportations de bois d'œuvre.

Verhandlungen des österreichischen Forstkongresses. 1887. Gr. in-8°. Frick, Vienne. Prix : 2 fr. — *Idem,* 1888.

L'association de forestiers autrichiens dénommée *Forstkongress,* et qu'il ne faut pas confondre avec celle qui s'appelle *Reichsforstverein,* a été fondée en 1875. Elle publie des comptes rendus de ses réunions, mais ils offrent moins d'intérêt que ceux de la société rivale qui est plus ancienne et renferme des membres plus marquants. (Cette dernière a eu à sa tête M. Robert Micklitz, l'éminent directeur général des forêts d'Autriche, l'auteur de la réorganisation de l'administration autrichienne, suivant le plan prussien, avec des chefs de cantonnement autonomes et des inspecteurs-contrôleurs.

WANGER (K. Z.). — *Der Lichtungsbetrieb und dessen Einfluss auf Pflege und Verjüngung der Bestände.* Ouvrage couronné. Richter, Davos. — Prix : 1 fr. 25 c.

La publication de cette brochure prouve qu'en Suisse, ainsi qu'en Allemagne, on se préoccupe de l'éducation des arbres en *coupe claire.* On sait que la *coupe claire* consiste à desserrer les peuplements au point de supprimer l'état de mas-

sif et d'isoler complètement les sujets les uns des autres ; elle ne doit donc pas être confondue avec l'éclaircie forte, même telle qu'on l'entend aujourd'hui en France, car, en pratiquant cette dernière, on ne détruit pas systématiquement l'état de massif sur l'ensemble du peuplement. La coupe claire se recommande surtout pour les essences de lumière telles que le chêne et le pin sylvestre. Le corollaire obligatoire de la coupe claire est l'introduction en sous-étage, soit par la voie naturelle, soit plutôt par la voie artificielle, d'une essence d'ombre à couvert épais, par exemple le hêtre sous le chêne, le sapin sous le pin sylvestre. Les expérimentateurs allemands croient avoir observé que le regain d'accroissement que prennent les arbres mis en coupe claire compense, et au delà, la perte d'accroissement résultant de la suppression d'un grand nombre de tiges. Quant à la grosseur et à la qualité des bois, elle se ressent naturellement aussi de l'isolement des cimes. M. Wanger expose ses idées sur les changements apportés par la théorie de la coupe claire dans le mode d'éducation et de régénération des peuplements.

WEISE (W.). — *Leitfaden für den Waldbau.* In-8° de 208 p. Springer, Berlin. Prix : 3 fr. 75 c.

M. Weise, le professeur de l'École polytechnique de Karlsruhe que nous avons déjà eu l'occasion de nommer, vient de faire imprimer un précis de son cours de sylviculture. On peut discuter la question de savoir si l'intérêt de l'enseignement exige qu'un professeur publie son cours de son vivant, ou s'il est préférable que ses leçons soient purement orales. La publication d'un précis, où les grandes lignes du cours sont seules tracées et dont sont bannies les explications et justifications de détail, constitue une solution moyenne à laquelle a eu recours M. Weise. Son ouvrage se divise en trois parties principales : I. Généralités. II. Étude des milieux (*Standortslehre*). III. Application ; Culture des diverses essences.

La première partie forme trois sections : 1. Théorie des peuplements purs et des peuplements mélangés ; 2. Création des peuplements ; 3. Soins à leur donner pendant leur vie ; 4. Méthodes de traitement. Rien de ce qu'il y avait d'essentiel à dire sur ces sujets n'a été omis. L'auteur exprime un regret qu'il y a également lieu de formuler en France, à savoir, qu'il n'y ait pas encore de terminologie satisfaisante et uniforme en matière de sylviculture : cette lacune nuit, en effet, plus qu'on ne se l'imagine quelquefois, au progrès des études sylvicoles et elle engendre des querelles de mots qui sont à la fois oiseuses et irritantes. A propos des méthodes de traitement, M. Weise ne manque pas de parler de deux systèmes qui font en ce moment grand bruit en Allemagne et qui portent d'ailleurs des noms retentissants : c'est le système de la *forêt de l'avenir* (*Zukunftswald*) et celui de la *forêt réformée* (*Reformwald*), dont les champions respectifs sont MM. Wagener et Borggreve. Nous ne pouvons que les mentionner dans une analyse telle que celle-ci ; mais ils mériteraient certainement d'être portés à la connaissance des forestiers français, ne serait-ce qu'à cause des discussions qu'ils ont provoquées chez nos voisins. M. Weise recommande beaucoup le traitement en taillis sous futaie avec une réserve nombreuse analogue à celle qui caractérise, en France, ce qu'on nomme la futaie sur taillis.

Sous le titre d'*Étude des milieux* (*Standortslehre*), M. Weise, dans la seconde partie de son livre, n'a pas entrepris une étude détaillée des lois de la végétation forestière comme on le fait souvent en Allemagne, en traitant des sols et de la physiologie végétale. Il s'est contenté de parler successivement de l'influence du sol et de l'influence de l'air.

La troisième partie de l'ouvrage : *Culture des diverses essences,* est la plus intéressante, à cause des nombreuses observations inédites amassées par le professeur de Karlsruhe. Il décrit d'abord les caractères botaniques et les exigences des essences au point de vue du sol et du climat, puis il passe à leur traitement cultural. En ce qui concerne le pin sylvestre, il conseille de ne le régénérer naturellement que sur les bons terrains.

WESTERMEYER (G.) — *Leitfaden für das preussische Jäger- und Förster-Examen.* 6e édition. Gr. in-8°. Springer, Berlin. — Prix : 6 fr. 25 c.

En Prusse, les jeunes gens qui veulent devenir gardes forestiers doivent subir un examen professionnel, à la suite duquel ils entrent en apprentissage. Cet apprentissage n'est pas interrompu par le service militaire, car celui-ci s'effectue dans des bataillons de chasseurs à pied composés de jeunes gens ayant vécu dans le voisinage ou au milieu des forêts, et utilisés en temps de paix comme gardes forestiers auxiliaires. (Le tragique événement arrivé en 1887, sur la frontière franco-allemande, a eu pour auteur un de ces préposés d'occasion.) Souvent des candidats gardes désirent accomplir leur service militaire avant d'effectuer leur stage dans l'administration ; ils sont alors tenus de subir l'examen professionnel pour entrer dans un bataillon de chasseurs. Le « Guide » de M. Westermeyer a pour but de faciliter à tous ces futurs gardes ou chasseurs la préparation aux épreuves théoriques et pratiques auxquelles ils sont soumis à l'entrée de leur carrière.

WURM (W.). — *Der Auerhahn-Jäger. Ein Handbüchlein für Waidmänner und Jagdbedienstete.* Gr. in-8°. Vienne, Gerold. — Prix : 2 fr.

Petit manuel pour la chasse au coq de bruyère, gibier encore abondant dans les Alpes autrichiennes et dans les Carpathes.

ZIEBARTH (Dr Karl). — *Das Forstrecht.* 2 vol. in-8°. Parey, Berlin. Prix : 7 fr. 50 c.

Le premier volume de cet ouvrage a déjà paru en 1887 : il traite du droit forestier civil. L'auteur professe à la faculté de droit de Göttingue ; il ne s'est point proposé, comme on pourrait le croire, d'indiquer les principes du droit civil qui trouvent leur application spéciale en économie forestière ; il a plutôt cherché à grouper les notions élémentaires de droit général qu'il convient de donner aux jeunes gens se destinant au service forestier. Il expose par exemple la législation relative à la propriété, aux associations, aux personnes juridiques.

Le second volume est consacré, dans le même esprit, au droit administratif. D'autres, non encore parus, se rapporteront au droit pénal et à la procédure.

Almanachs.

Forst- und Jagd-Kalender, 1888, publié par F. Judeich et H. Behm. 2e partie. Springer, Berlin. — Prix : 2 fr. 50 c. (1 fr. 90 c. pour les acheteurs de la 1re partie).

Cette seconde partie de l'*Almanach du forestier et du chasseur* de MM. Judeich et Behm renferme des renseignements statistiques : 1° sur les établissements d'enseignement sylvicole d'Allemagne, d'Autriche et de Suisse ; 2° sur les associations forestières de ces pays ; 3° sur les surfaces boisées que présentent les différents États de l'empire d'Allemagne et sur l'organisation du service forestier dans ces États ; 4° sur les forêts et les domaines agricoles appartenant, en Autriche, à l'État et aux établissements publics. Ces renseignements son accompagnés d'un état du personnel forestier en Allemagne et en Suisse. Le tout provient de source officielle.

La première partie de l'édition concernant l'année 1888 a paru dès 1887.

Forst- und Jagd-Kalender, 1889, publié par F. Judeich et H. Behm. 1re partie. Springer, Berlin. — Prix : édition A : 2 fr. 50 c. ; édition B : 2 fr. 75 c. (Ces éditions diffèrent par la reliure et les feuillets blancs intercalés.)

C'est la première partie de la publication mentionnée ci-dessus. Elle constitue un agenda de poche très bien compris. En tête du volume se trouvent un calendrier et des renseignements sur les occupations du forestier, du chasseur et du pêcheur pendant les différents mois de l'année. Des tableaux coloriés indiquent ensuite les époques d'ouverture et de fermeture de la chasse des diverses espèces de gibier en Allemagne, en Suisse et dans certaines provinces de l'Autriche. Enfin, à la suite des feuillets blancs réservés pour l'agenda, les auteurs ont placé un *vade-mecum* renfermant des tableaux et des formules de toute espèce dont le forestier peut avoir à se servir sur le terrain. Nous citerons : les formules donnant la surface et le volume des corps géométriques ; des tables de cubage ; des tables de production ; des coefficients de forme des arbres ; des indications relatives aux semis et plantations, aux ouvrages d'art, au tracé des routes ; des tarifs pour le calcul des intérêts composés et la solution des problèmes d'estimation en fonds et superficie.

L'agenda que nous venons de décrire jouit d'une vogue légitime en Allemagne : il y a peu de forestiers qui n'en soient pourvus. Son rôle, parmi eux, est celui que joue l'*Agenda Oppermann* parmi les ingénieurs.

Der « Förster ». Land- und Forstwirthschafts-Kalender für 1889, publié par Th. Conrad, forestier praticien. Graudenz, près Röthe. — Prix : 1 fr. 90 c. ou 2 fr. 50 c. suivant le mode de reliure.

Almanach à l'usage des préposés forestiers et des petits cultivateurs. Il renferme beaucoup de renseignements et de tables concernant les travaux agricoles. Il embrasse la période allant du 1er octobre 1888 au 30 septembre 1889.

HEMPEL'S *Taschenkalender für den Forstwirth, für* 1889. Perles, Vienne. Prix : 3 fr. 75 c.

DOMBROWSKI'S *Jagd-Kalender für* 1889. Perles. Vienne. — Prix : 3 fr. 75 c.

Ces deux almanachs, rédigés spécialement à l'usage des forestiers et des chasseurs autrichiens, sont destinés à remplacer pour eux la première partie du *Forst- und Jagd-Kalender* de MM. Judeich et Behm.

E. REUSS.

Liste des publications et journaux périodiques, livres et brochures envoyés aux Annales.

Journal d'agriculture pratique. — Hebdomadaire. — *Rédacteur en chef* : E. LECOUTEUX. — Paris, 26, rue Jacob.

Journal de l'agriculture. — Hebdomadaire. — *Rédacteur en chef* : H. SAGNIER. — Paris, G. Masson, 120, boulevard Saint-Germain.

Tableaux mensuels de Statistique municipale de la ville de Paris. — Paris, G. Masson, éditeur.

Bulletin hebdomadaire de Statistique municipale de la ville de Paris. — Paris, G. Masson, éditeur.

Revue d'hygiène et de police sanitaire. — Mensuel. — *Rédacteur en chef :* Dr E. VALLIN. — Paris, G. Masson.

Revue générale d'agriculture et de viticulture méridionales. — *Rédacteur en chef :* G. RENOUARD. — Marseille, typographie J. Cayes.

L'Algérie agricole. — *Rédacteur en chef :* Ch. RIVIÈRE. — Paris, Challamel aîné.

Revue internationale des produits chimiques. — *Directeur-gérant :* F. THIVET. — Paris, 72, boulevard Gambetta.

Le champ d'expériences. — Mensuel. — *Propriétaire-gérant :* E. DEZAPHY, à Ansac (Charente).

Le Progrès agricole et viticole. — *Directeur :* L. DEGRULLY, à Villefranche (Rhône).

Société des sciences, agriculture et arts de la Basse-Alsace. — Bulletin mensuel. — Strasbourg, G. Fischbach.

L'avenir des campagnes. — Revue mensuelle. — 9, rue Casimir-Périer, Paris.

Landwirthschaftliche Jahrbücher. — Dr H. VON THIEL. — Berlin, chez Paul Parey.

Zeitschrift für Biologie. — *Rédacteurs en chef :* Prof. W. KÜHNE et Prof. C. VOIT. — Munich et Leipzig, chez R. Oldenbourg.

Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie und mikroskopische Technik. — *Rédacteur en chef :* Dr W. BEHRENS. — Göttingen.

Zeitschrift des landwirthschaftlichen Vereins in Bayern. — *Rédacteur en chef :* Otto MAY. — Munich, chez M. Pössenbach.

Zeitschrift des landwirthschaftlichen Vereins für Rheinpreussen. — *Rédacteur en chef :* Dr HAVENSTEIN. — Chez Carl Georgl.

Biedermann's Centralblatt für Agriculturchemie. — *Rédacteur en chef :* Prof. FLEISCHER. — Bremen.

Deutsche landwirthschaftliche Zeitung. — *Rédacteur en chef :* SIEVERT. — Berlin.

Wiener landwirthschaftliche Zeitung. — Hugo Hitschmann, éditeur. Vienne.

Revue Sud-Américaine. — Hebdomadaire. — *Rédacteur en chef :* P. S. LAMAS. — 23, rue Clapeyron, Paris.

Agricultural Science. — Pr. Charles S. Plumb à Knoxville, éditeur. Tennessee.

The Field ; the Country Gentleman's Newspaper. — Hebdomadaire. — 346, Strand London, W. C.

The Wine and Trade Review. — Mensuel. — *Rédacteur en chef :* Dr James CHERRY. — Eastcheap Building, London, E. C.

The Provisioner. — Bi-mensuel. — A. Brimmer, éditeur. 17, Newcastle Street, Farringdon Street, London, E. C.

Agricultural Student's Gazette. — Mensuel. — Royal agricultural College Cirencester. Chez A. T. Harmer.

Resumen de Agricultura. — Mensuel. — Pino, 5. Tipografia católica, Barcelona.

Revista del Instituto agricola catalan de San Isidro. — *Rédacteur en chef :* Don RAFAEL ROIY Y TORRÈS. Barcelona.

Revue internationale scientifique et populaire des falsifications des denrées alimentaires. — Bi-mensuel. — *Rédacteur en chef :* Dr P. F. VAN HAMEL ROOS. — Amsterdam.

Italie. — Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio. — **Annali di Agricoltura.**

— Bolletino di notizie agrarie. — Rivista meteorico-agraria.

Le Stazioni sperimentali agrarie. — *Directeur :* PASQUALE FREDA. — Roma, Eredi Botta.

Nuova Rassegna di viticoltura ed enologia della R. Scuola di Conegliano. — Bi-mensuel. — *Directeurs :* Dr G. GRAZZI SONCINI, E. COMBONE, A. CARPERIE.

Journal d'agriculture suisse. — Le Cultivateur de la Suisse romande et la Ferme suisse réunies. — Hebdomadaire. — *Rédacteur en chef :* C. BOREL, à Collex (canton de Genève).

Livres et brochures adressés à la Rédaction des Annales.

Canada. — **Résumé statistique pour l'année 1887**, publié par le Ministère de l'Agriculture. — Un volume in-8°. Ottawa. Imprimé par Brown Chamberlin. 1888.

W. H. LYNCH. — **La pratique de la laiterie suivant les données de la science,** dédié aux agriculteurs canadiens ; avec illustrations. — Brochure grand in-8°. Ottawa. A. S. Woodburn. 1886.

Italo Giglioni. — **Educazione Agraria Britannica. Annali di Agricoltura.** — Roma, Eredi Botta.

Domenico Pecile. — **Intorna ad alcune Norme da Seguirsi nell' esecuzione di esperienze colturali.** — 1 brochure grand in-8°. — Udine Guiseppe Seitz. 1889.

Dr A. Atterberger. — **Die Erkennung der Hauptvarietäten der Gerste in den nordeuropäischen Saat- und Malzgersten.** — In-8°. Extrait des *Landwirthschaftliche Versuchs-Stationen.* — Berlin, Paul Parey. 1889.

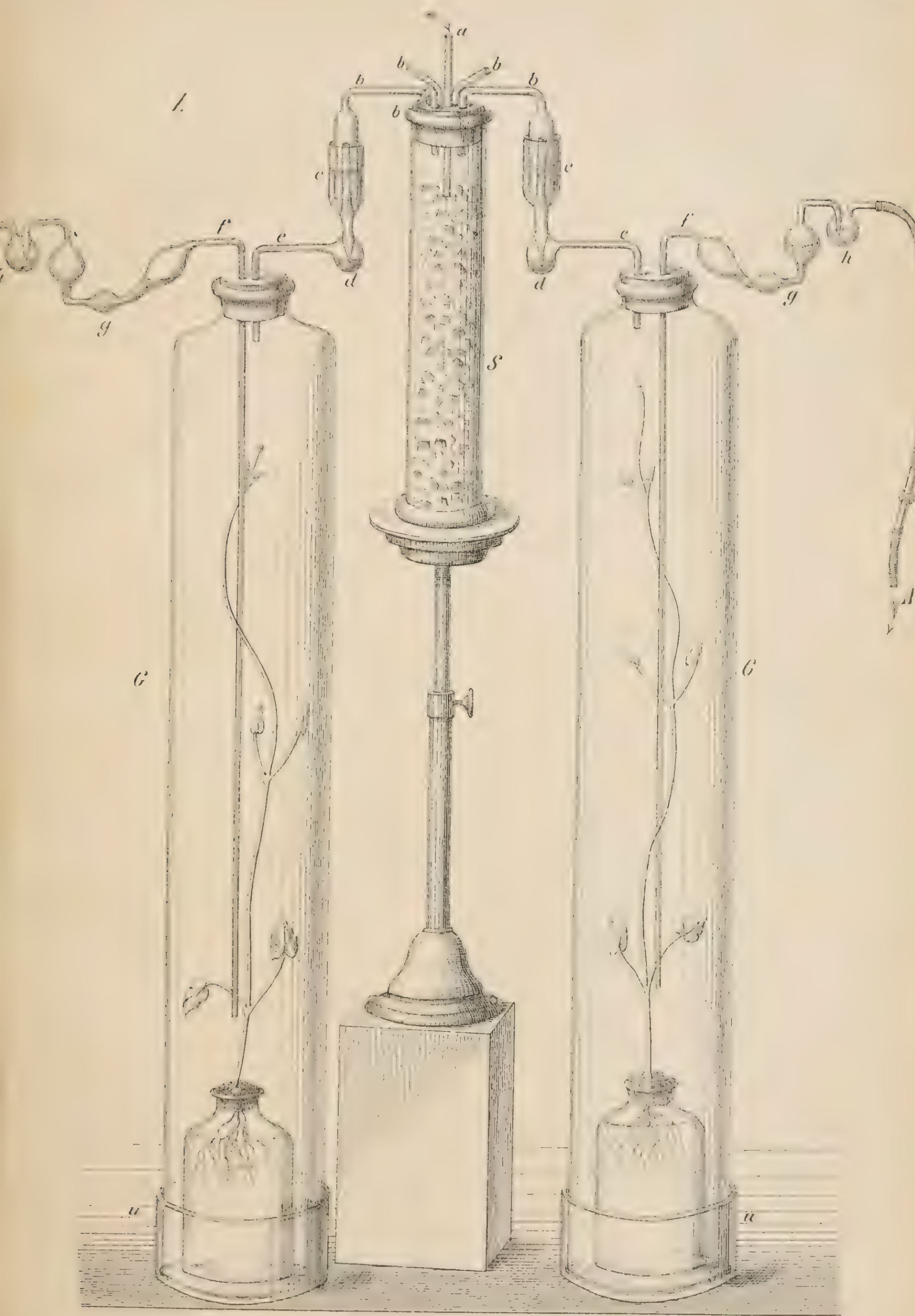
Royal Agricultural Society of England. — Prize sheet for Stock, Farm Produce, etc., at the metropolitan Exhibition to be held in Windsor great Park on 24th June 1889, and five following days, to celebrate the 50th Anniversary of the foundation of the Royal Agricultural Society of England. — 1 brochure petit in-8°.

— Regulations for the exhibition and trial of Agricultural Implements Machinery etc., at the metropolitan Exhibition, etc. — 1 br. petit in-8°.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DEUXIÈME (1888)

Nancy, imp. Berger-Levrault et Cie.



B. Frank del.

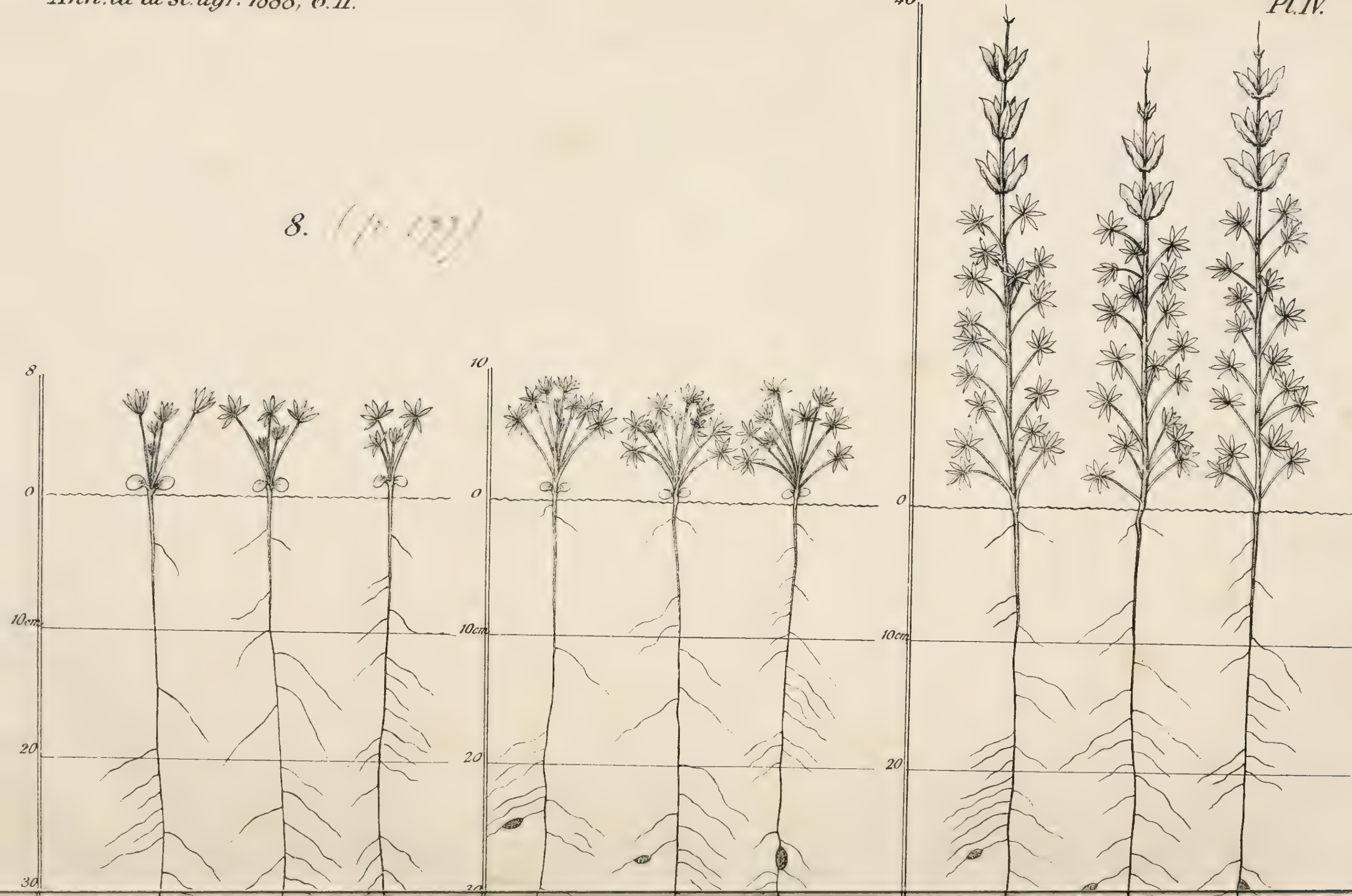
W. A. Meyn lith.

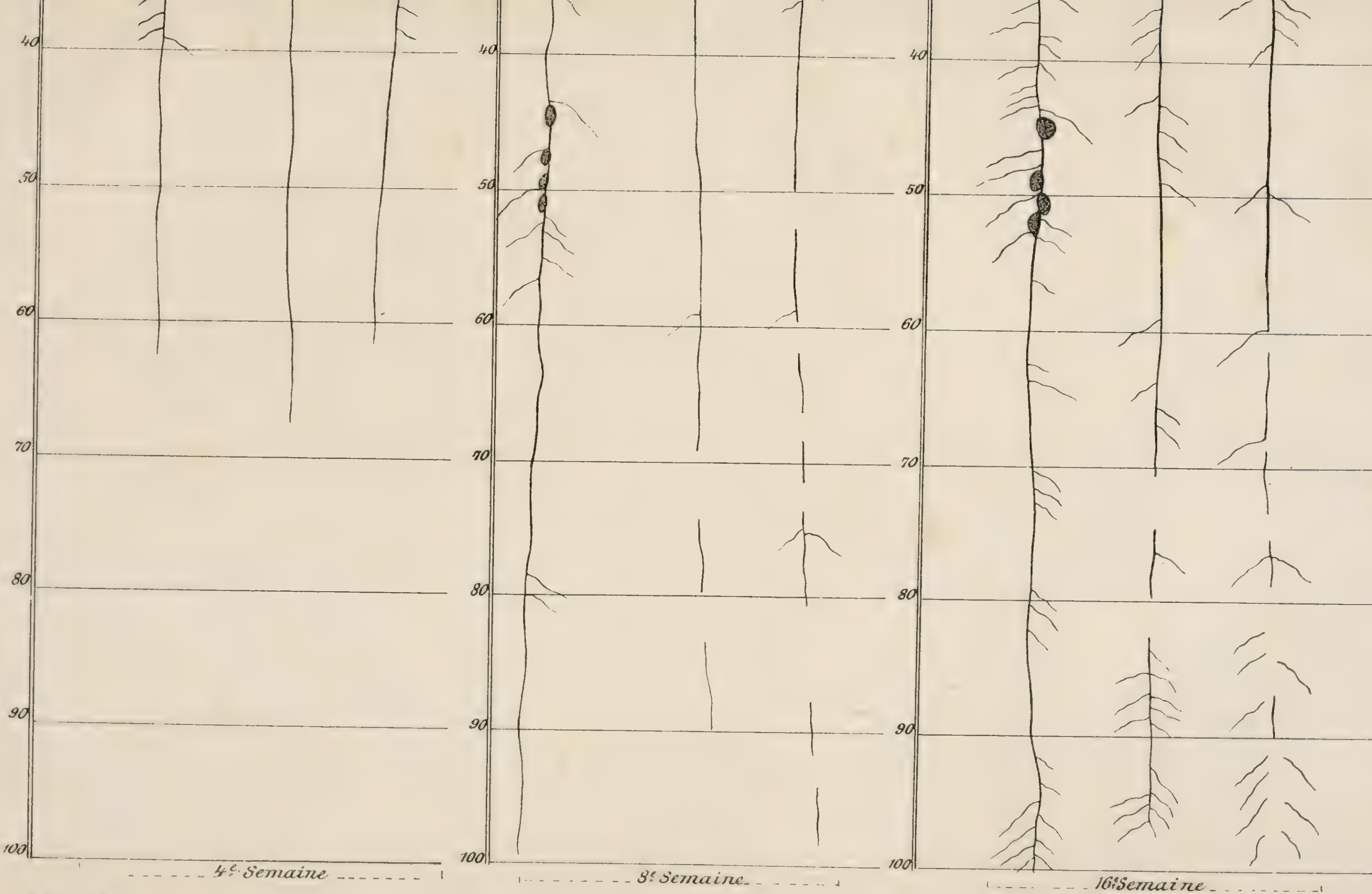

Stérilisé.
non
Stérilisé



F. Frank del. W. A. Meyn lith

8.

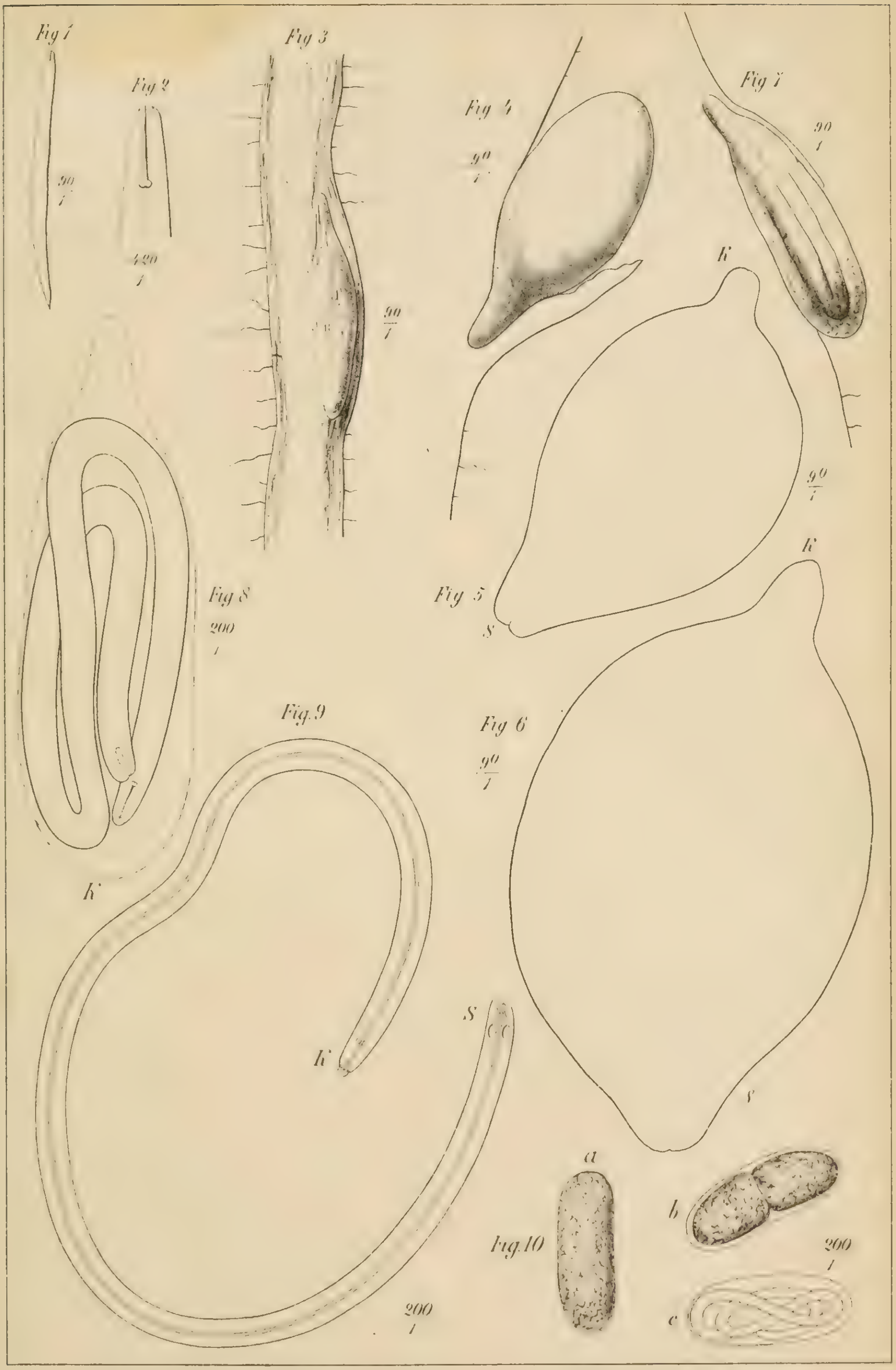




B. Frank del.

W. A. Meyn lith.

NÉMATODES DE LA BETTERAVE.



Dessiné d'après nature par Jul. Kühn.

Lith. Berger-Levrault & Cie Nancy 1468-1027